

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh ohřevu vody pomocí sluneční energie

Project of Water Heating Using Solar Energy

Student:

Lukáš Bielan

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Bielan**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Téma: **Návrh ohřevu vody pomocí sluneční energie**
Project of Water Heating Using Solar Energy

Zásady pro vypracování:

Navrhnete solární systém pro přípravu teplé vody v rodinném domě obývaném celoročně 6 osobami s využitím přímého slunečního záření. Práce bude obsahovat:

1. Rešerši zaměřenou na možnosti využití slunečního záření v ČR pro generaci tepla.
2. Návrh systému, způsobu jeho provozování, dispoziční řešení.
3. Stanovení měsíčních a ročních zisků.
4. Vyhodnocení návrhu z ekonomického a environmentálního hlediska.
5. Grafickou část - schéma zapojení.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80–7078–445–8.
CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80–900759–5–9.
TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0–13–728098–X.
HALAHYJA, M.; VALÁŠEK, J. a kol. *Solárna energia a jej využitie*. Bratislava: ALFA, 1983. 304 s.
MATUŠKA, T. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Lukáš Bielan

Polní 552/3, Štěpánkovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BIELAN, L. *Návrh ohřevu vody pomocí sluneční energie : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Jako svou bakalářskou práci jsem si vybral téma - Návrh ohřevu vody pomocí sluneční energie. Budu se v ní zabývat návrhem slunečních kolektorů pro ohřev vody na rodinný dům.

V první části jsem čtenáři nabídnul možnosti využití solární energie, dále jsem shrnul a popsal základní typy slunečních kolektorů a eventuality jejich zapojení. Ve druhé části jsem zvolil solární kolektor a provedl jsem výpočet pro již zadaný rodinný dům s určitým počtem osob (bude se jednat o můj vlastní rodinný domek se šesti osobami). Závěr práce obsahuje ekonomické a environmentální zhodnocení mnou navrženého kolektoru.

Klíčová slova: sluneční energie, kolektory, teplo, solární systém/soustava, absorbér, teplonosné médium

ANNOTATION BACHELOR THESIS

BIELAN, L. *Project of Water Heating Using Solar Energy : bachelor thesis*. Ostrava : VŠB - Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2014, s. Thesis head: Vrtek, M.

For this bachelor thesis I chose a topic – Project of Water Heating Using Solar Energy. This thesis deals with the usage of solar collector for water heating in a detached house.

In the first part, the reader is offered few opportunities of using the solar energy, then there are described basic types of solar collectors and specifics of their connections. The second part is about the solar collector for a concrete detached house with particular number of inhabitants (my own detached house for six people). The conclusion contains economical and environmental valorization of the collector I proposed.

Key words: solar energy, collector, heat, solar system, absorber, heat transfer medium

Obsah

Seznam použitého označení.....	9
Úvod.....	11
1 Sluneční energie	12
2 Aktivní a pasivní možnosti slunečního využití	14
3 Solární kolektory	15
3.1 Nezasklené kolektory	16
3.2 Ploché atmosférické kolektory	16
3.3 Ploché vakuové kolektory	18
3.4 Trubkové vakuové kolektory	18
3.4.1 Trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou	19
3.4.2 Trubkové kolektory s dvoustěnnou trubkou	20
3.5 Koncentrační kolektory	20
3.5.1 Koncentrační kolektory s Fresnellovou lineární čočkou	20
3.5.2 Koncentrační trubkové kolektory	21
4 Účinnostní charakteristiky jednotlivých typů kolektorů	22
5 Solární tepelné soustavy	24
5.1 Solární soustavy pro přípravu teplé vody.....	24
5.1.1 Maloplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody	24
5.1.2 Středně a velkoplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody.....	26
5.2 Solární soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění	26
5.2.1 Maloplošné solární kombinované soustavy	27
5.2.2 Velkoplošné solární kombinované soustavy.....	29
5.3 Solární soustavy pro ohřev bazénové vody.....	29
5.3.1 Solární soustavy pro otevřené venkovní bazény.....	30
5.3.2 Solární soustavy pro kryté vnitřní bazény	31
6 Návrh slunečního systému.....	32

6.1	Výpočet měsíčních potřeb tepla pro přípravu TV	32
6.2	Stanovení množství skutečného slunečního záření dopadajícího na plochu dané orientace	33
6.3	Volba typu kolektoru a stanovení rovnice účinnostní charakteristiky	34
6.4	Stanovení průměrné účinnosti kolektoru v jednotlivých měsících.	36
6.5	Stanovení měrného tepelného zisku kolektoru.	38
6.6	Návrh měsíce s rovnovážnou energetickou bilancí.....	39
6.7	Návrh počtu m ² kolektorové plochy	39
6.7.1	Návrh počtu kolektorů:	39
6.7.2	Přepočet počtu m ² kolektoru plochy:.....	40
6.8	Určení energetické bilance pro jednotlivé měsíce	40
6.8.1	Stanovení maximálního celoročního zisku solárního systému	41
6.8.2	Stanovení skutečného celoročního zisku solárního systému	42
6.8.3	Výpočet celoročního solárního zisku vztaženého na 1 m ² plochy kolektoru.....	43
6.9	Vyhodnocení návrhu z environmentálního hlediska.....	43
6.10	Vyhodnocení návrhu z ekonomického hlediska	48
6.10.1	Volba čerpadla a zásobníku:	48
6.10.2	Doba návratnosti:	49
6.11	Grafická část.....	50
	Závěr	52
	Seznam použité literatury	53
	Seznam příloh	54

Seznam použitého označení

Značka	Popis	Jednotka
A	Redukovaná teplota pro jednotlivý měsíc	[-]
a_1	Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru	$[W/(m^2 \cdot K)]$
a_2	Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru	$[W/(m^2 \cdot K^2)]$
A_p	Obsah popela v původním vzorku tuhých paliv	[%]
c_{H_2O}	Měrná tepelná kapacita vody	$[kJ/(kg \cdot K)]$
Č	Cena oběhového čerpadla	[Kč]
i	Počet dní v měsíci	[-]
IN	Investiční náklady	[Kč]
K	Cena jednoho slunečního kolektoru	[Kč]
m	Denní spotřeba teplé vody pro jednu osobu na den	[l]
m_m	Měsíční spotřeba teplé vody pro 6 osob	[kg]
M_m	Množství ušetřeného paliva za měsíc	[kg]
M_r	Množství ušetřeného paliva za rok	[kg]
n	Počet kolektorů	[ks]
o	Počet osob	[-]
Q	Zisk tepla ze sluneční soustavy v jednotlivých měsících	[kWh]
Q'_{max}	Maximální celoroční zisk solárního systému vztažený na 1 m^2 plochy kolektoru	$[kWh \cdot m^{-2}]$
Q'_{skut}	Skutečný celoroční zisk solárního systému vztažený na 1 m^2 plochy kolektoru	$[kWh \cdot m^{-2}]$
Q_{CO}	Množství oxidu uhelnatého vypouštěného do ovzduší	[kg]
Q_i	Výhřevnost černého uhlí	$[MJ \cdot kg^{-1}]$
Q_k	Měrný tepelný zisk kolektoru	$[kWh \cdot m^{-2}]$
Q_m	Měsíční potřeba tepla pro přípravu teplé vody	[kJ]
Q_{max}	Maximální celoroční zisk solárního systému	[kWh]
Q_{NOX}	Množství oxidů dusíku vypouštěných do ovzduší	[kg]
Q_{Org}	Množství organických látek vypouštěných do ovzduší	[kg]
Q_{skut}	Skutečné množství slunečního záření dopadající na plochu dané orientace	$[kWh \cdot m^{-2}]$
Q_{skut}	Skutečný celoroční zisk solárního systému	[kWh]
Q_{SO_2}	Množství oxidu siřičitého vypouštěného do ovzduší	[kg]
Q_{teor}	Teoretická energie dopadající za den na různě skloněné plochy	$[kWh \cdot m^{-2}]$

Značka	Popis	Jednotka
Q_{teor}	Teoretická energie dopadající za den na různě skloněné plochy	[kWh·m ⁻²]
Q_{TZL}	Množství tuhých znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší	[kg]
RU	Roční úspora	[Kč]
S	Skutečná plocha kolektorů	[m ²]
S'	Teoretická plocha kolektorů	[m ²]
S _{abs}	Plocha absorberu	[m ²]
Sp	Obsah síry v původním vzorku tuhých paliv	[%]
t ₁	Počáteční teplota vody	[°C]
t ₂	Požadovaná teplota vody	[°C]
t _e	Střední teplota okolí v době slunečního svitu	[°C]
t _m	Střední teplota teplonosné kapaliny	[°C]
Z	Cena zásobníku teplé vody	[Kč]
Δt	Rozdíl teplot	[°C]
η	Účinnostní charakteristika kolektoru	[-]
η ₀	Optická účinnost kolektoru	[-]
η ₁₅	Účinnost při uvažovaných ztrátách 15 %	[%]
τ _p	Prostá doba návratnosti	[r]
τ _{rel}	Relativní doba slunečního svitu	[-]
τ _{teor}	Teoretická doba slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců	[h]

Úvod

V poslední době je sluneční energie často skloňovaným a diskutovaným tématem v oboru obnovitelných zdrojů. Pořád více ve svém okolí narážíme na pozemky pokryté panely zachycující sluneční záření, ať už pro ohřev vody, nebo za účelem zisku elektrické energie, či na střechy domů zdobené tímto zařízením.

Cílem mé bakalářské práce je odpovědět na otázku, zda by bylo výhodné použití solárního systému na rodinný domek, ve kterém celoročně bydlím. Dům se nachází ve Štěpánkovicích, což je malá vesnice na Opavsku. Budu se zabývat samostatným návrhem slunečního kolektoru a vyhodnocením projektu z ekonomického a environmentálního hlediska.

Toto téma jsem si vybral, protože mě otázka obnovitelnosti energie zajímá a zároveň tak zjistím, jestli by se aplikování slunečních kolektorů na rodinný domek vyplatilo.

1 Sluneční energie

Slunce je středem Sluneční soustavy, jejíž součástí je i planeta Země. Zároveň nám je nejbližší a nejdůležitější hvězdou. Jeho energie dopadá na Zemi ve formě fotonů (záření), přibližně dvě třetiny z ní Země zachytí a zbytek se odrazí zpátky do kosmu. Člověk je schopen velkou část dopadajícího slunečního záření díky moderní technice využít. Nejčastější možnost, jak toho docílit, je zachycovat sluneční energii ještě ve formě fotonů a přeměnit ji na jiné druhy energie - tepelnou, mechanickou, elektrickou nebo chemickou.

Nejsnadnější je přeměna na tepelnou energii. Kolektory (sběrače), které zachycují záření, mohou být koncentráty s odrazovou plochou, ploché panely nebo soustava sběrných čoček. Snažíme se vyvarovat použití výrazu "panel", aby nedošlo k nežádoucí záměně s fotovoltaickými panely.

Pomocí optických koncentrátů můžeme dosahovat vysokých teplot (např. 4000 °C i více). Dají se tak využít k destilaci vody, tavení kovů a v teplých krajích mohou sloužit i ke chlazení.

Ploché kolektory převádějí sluneční energii v teplo o nízkém potenciálu (do 100 °C). Slouží k vytápění budov, ohřívání užitkové vody nebo k teplovzdušnému vysušování.

Přímá přeměna energie slunečního záření na mechanickou energii by měla velmi nízkou účinnost, protože impuls fotonů je malý. Můžeme ale říci, že ze sluneční energie vznikla skoro všechna mechanická energie na Zemi. Tehdy mluvíme o metodě nepřímé. Energie ze Slunce tak prochází řetězcem přeměn, ve kterém stojí na začátku vždy sluneční energie a na konci teplo, to se pak v podobě infračerveného záření ze Země odvede do kosmického prostoru. Jako příklad řetězce přeměn lze uvést např. práci domácích tažných zvířat živících se rostlinnou potravou, práci vodních turbín poháněných potenciální energií vody z přehradních nádrží atd.

Při přímé přeměně na elektrickou energii se využívá fotovoltaického jevu, kdy fotony přímo působí na elektrony v některých tuhých látkách (polovodičích). Jejich nevýhoda je malá účinnost slunečních baterií a vysoká cena. Jsou nezbytnou součástí všech umělých družic.

Elektrickou energii můžeme vyrábět i konvenčním způsobem ve slunečních elektrárnách, kde všechna odrazná zrcadla (sběrače) umístěná v rozsáhlé oblasti soustřeďují sluneční energii do jednoho bodu na vysoké věži. Tam je umístěn parní

generátor, vyrobená pára pak pohání turbínu, další proces je stejný jako u tepelných elektráren.

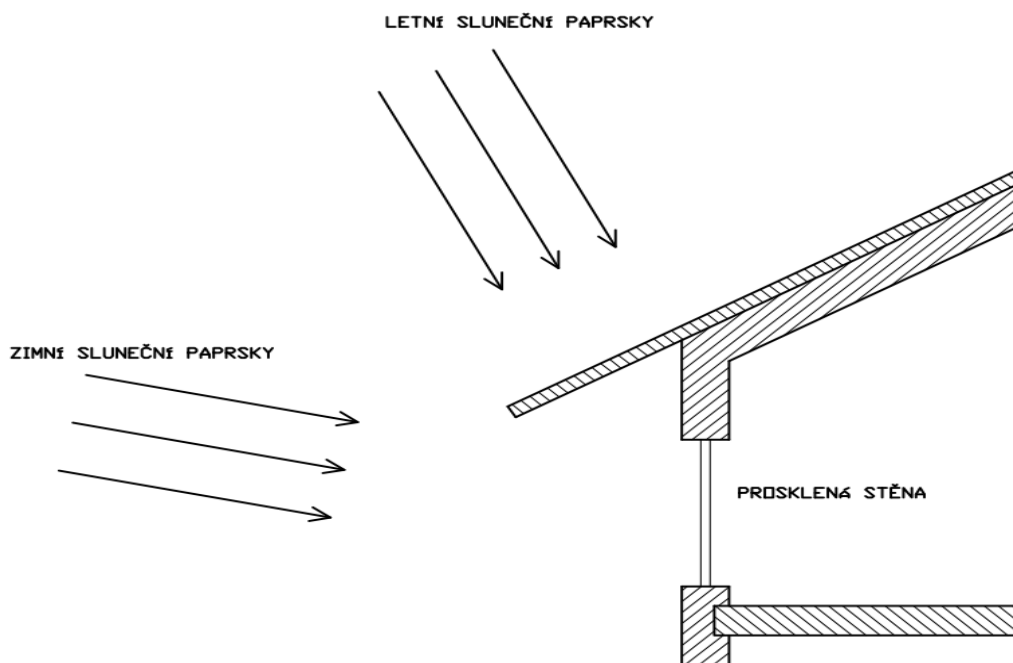
Přímá přeměna na chemickou energii se dá provést pomocí fotochemické reakce, při níž se pohltní dopadající fotony molekulou a zasáhnou do její struktury. [1], [2]

2 Aktivní a pasivní možnosti slunečního využití

Sluneční záření můžeme využívat dvěma způsoby, buď je to pomocí pasivního vytápění, nebo pomocí aktivních solárních systémů. Tyto uvedené možnosti se dají vhodně kombinovat.

Pasivní vytápění je založeno na zachycování slunečních paprsků vlastní stavbou. Jedná se vlastně o jakousi sluneční architekturu, ve které se snažíme přizpůsobit budovu tak, aby v zimním období maximálně využila sluneční záření a v létě jej zminimalizovala.

Základem pasivního systému je zasklená plocha umístěná na jižní straně budovy. Pro zimní roční období je výhodná plocha nakloněná v úhlu od 60 do 90°, protože slunce je nízko nad obzorem, v letní fázi roku je vhodnější svisle situované zasklení, poněvadž na kolmé stěny dopadá energie méně. V případě nadměrného oslunění se dá slunečnímu svitu zabránit např. předsunutou stříškou. Jako příklady pasivních slunečních systémů mohu uvést sluneční okno, sluneční akumulaciční stěnu, sluneční skleník apod.



Obr. č. 1 - Pasivní využití sluneční energie (sluneční okno), [1]; [6]; Vlastní zpracování.

Aktivní systémy, jak je známo, nejsou přímou součástí budovy, jde o soustavu prvků, která je ke stavbě dodatečně nainstalována. Mluvíme tedy o klasických solárních kolektorech. Základní části aktivního systému tvoří kolektor, nosná konstrukce, natáčecí a polohovací zařízení, teplotní médium, výměníky, boilers, objemové čerpadlo, zpětná klapa, potrubí a izolace, armatury, odvzdušňovací ventil, expanzní nádoba, pojistný ventil, regulační a měřicí jednotka. [1], [2]

3 Solární kolektory

Jak již bylo řečeno v předcházejících kapitolách, nejjednodušší cesta jak přeměnit energii slunečního záření v tepelnou energii je přeměnou fotonů, mluvíme tedy o fototermální přeměně. Základním prvkem kolektoru je absorpční plocha, která se zachycováním slunečního záření ohřívá. Vzniklá tepelná energie je pak předávána teplotnosnému médiu, které kolektorem protéká. Médium bývá nejčastěji voda nebo vzduch, podle druhu je dále dělíme na kapalinové a vzduchové.

Absorbér u kapalinových kolektorů je tvořen z trubek, ve kterých protéká kapalina odvádějící teplo. Vzduchové kolektory slouží k přivádění čerstvého vzduchu a teplovzdušnému vytápění.

Solární kapalinové kolektory se dají dělit podle:

- **teplotnosné látky**
 - kapalinové
 - vzduchové
- **zasklení**
 - bez zasklení
 - jednoduché
 - vícevrstvé
 - struktura
- **konstrukce**
 - ploché
 - trubicové
 - koncentrační
- **absorbéru**
 - plastový
 - kovový - neselektivní
 - kovový - selektivní
 - akumulací
- **tlaku výplně**
 - atmosférický
 - subatmosférický (vakuový)

V praxi se nejčastěji setkáváme s rozdělením na:

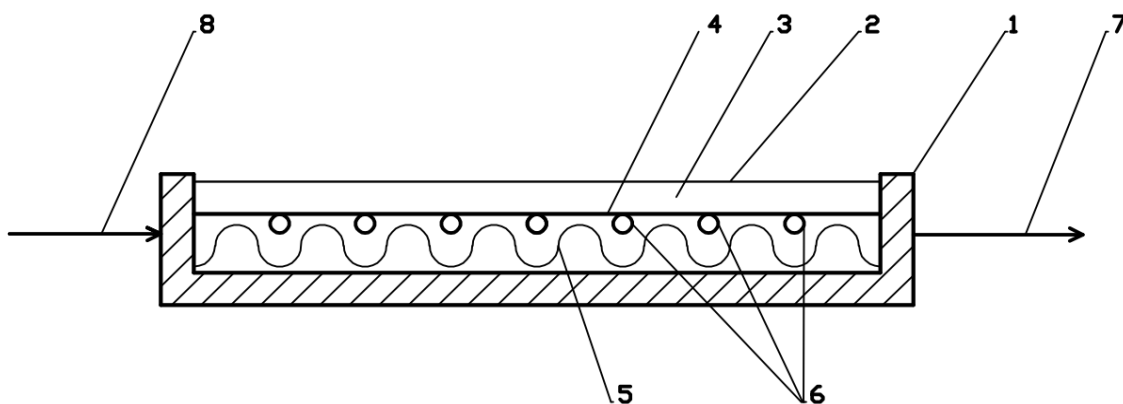
- ploché
- bazénové
- vakuové

3.1 Nezasklené kolektory

Sluneční záření se neodráží od zasklení, což je výhodné, na druhou stranu se ale snižuje účinnost a výkon kolektoru vlivem okolního prostředí např. při vysoké rychlosti větru rapidně rostou tepelné ztráty. Tento druh kolektoru je vhodný k ohřevu vody pro bazény.

3.2 Ploché atmosférické kolektory

Vyznačují se plochou aperturou a plochým absorberem, který je kovový, vyrobený z tepelně vodivých materiálů a jejich kombinacemi. Většinou to jsou měď a hliník. V dnešní době se nejčastěji vyrábí ploché kolektory se selektivním povrchem - tzn. díky selektivnímu povlaku na absorberu je kolektor určen pro celoroční ohřev vody a vytápění.

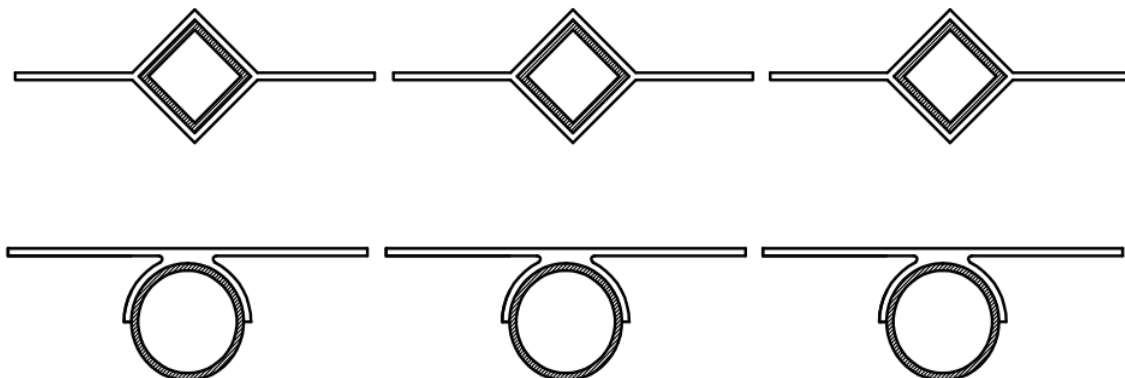


Obr. č. 2 - Schéma řezu plochého solárního kolektoru, [6]; [1]; Vlastní zpracování.

1 - rám, 2 - sklo, 3 - vzduchová mezera, 4 - absorbér, 5 - tepelná izolace, 6 - trubkový registr, v němž proudí tepleonosné médium, 7 - odvod tepleonosného média, 8 - přívod tepleonosného média

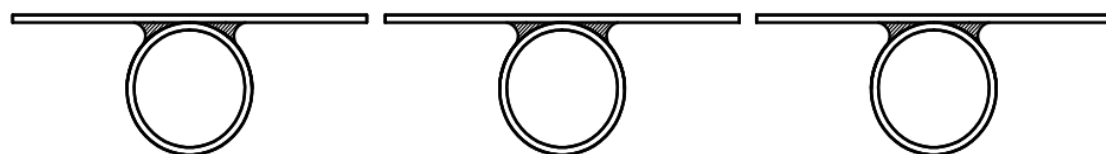
Příklady spojení absorpční plochy se systémem odvodu tepla:

- nalisováním



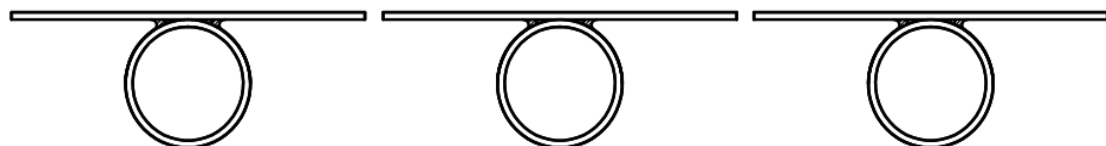
Obr. č. 3

- napájením



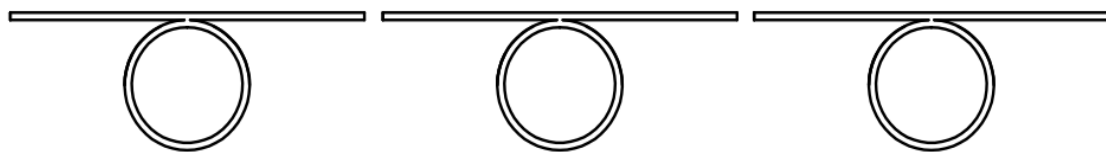
Obr. č. 4

- laserovým svařováním



Obr. č. 5

- ultrazvukovým svařováním



Obr. č. 6, Obr. č. 3 až 6, [4]; Vlastní zpracování.

V prostoru pod zasklením je stejný tlak vzduchu jako v okolním prostředí. Rám tvoří výlisek nebo je složen z profilů, dále se vyplňuje tepelnou izolací. Ve velkém procentu případů je opatřen "průduchy", které mají za úkol odvádět případnou vlhkost

a zamezit tak orosení skla kolektoru. Tento druh kolektorů se instaluje na střechy budov nebo fasády.

3.3 Ploché vakuové kolektory

Tento typ kolektorů neobsahuje izolaci, tepelným ztrátám se zabráňuje tak, že je v prostoru skříně snížený tlak na 1 až 10 kPa. Omezí se tak proudění vzduchu mezi absorbérem a zasklením. Rám kolektoru tvoří výlisek, protože musí být vakuotěsný. Prasknutí skla (ať už kvůli atmosférickému tlaku nebo nárazu předmětů) zabráňujeme podpůrnými nerezovými elementy, které by se neměly dotýkat absorberu, čímž by se snižovala účinnost kolektoru.

Ploché vakuové kolektory se vakuují až po namontování na střechu pomocí vývěvy. Jejich součástí je i manometr, jenž indikuje ztráty vakua v prostoru skříně.

3.4 Trubkové vakuové kolektory

Obecně se jedná o kolektory s válcovým zasklením. V prostoru mezi sklem a absorbérem, kde je extrémně nízký tlak (pod 10^{-3} Pa), dochází k přenosu tepla z velké většiny sáláním. Přenos tepla vedením a konvekcí se díky vysoké absenci molekul plynů sníží na minimum.

Abychom zabránili výskytu zbytkových plynů ve vakuovém prostoru, používáme tzv. „getry“, jedná se o rychle oxidující kovy. Getrová vložka se po evakuaci vnitřního prostoru indukčně zahřeje na vysokou teplotu, odpaří se a reaguje se zbytkovými plyny, které pohltí. Nakonec se v podobě stříbrné vrstvy usadí na dně trubkového kolektoru. Getr pohlcuje i další molekuly plynů, jenž se mohou dostat do vakuovaného prostoru během provozu. Když změní svou barvu ze stříbrné na mléčně bílou, tak uživateli signalizuje, že kolektor byl porušen a do prostoru mezi sklem a absorbérem se dostalo větší množství vzduchu.

Kombinace vakuové izolace a nízkoemisivního povrchu absorberu je velmi výhodná, protože tepelné ztráty se minimalizují i v případě vysokých teplotních rozdílů mezi absorbérem a okolním prostředím. Trubkové vakuové kolektory můžeme podle konstrukce rozdělit na:

- trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou - vyrábí se převážně v Evropě
- trubkové kolektory s dvoustěnnou trubkou - typ vyráběný hlavně v Číně

Dále můžeme zmíněné typy rozdělit podle konstrukčního uspořádání odvodu tepla na:

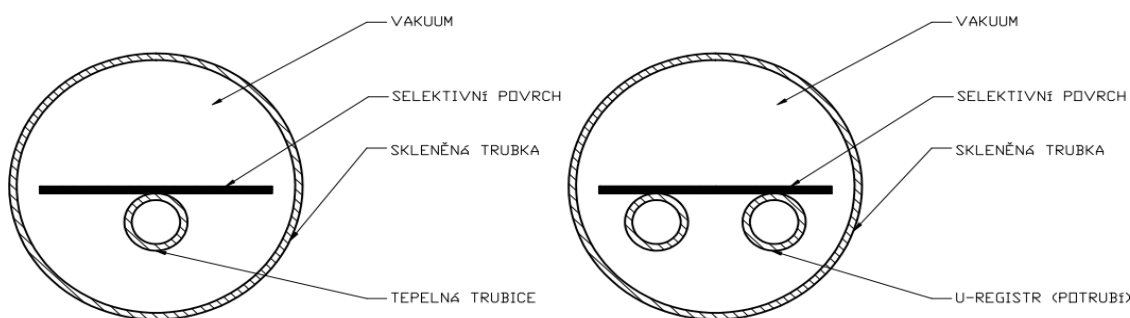
- přímo protékané - absorberem přímo protéká teplotonosná kapalina, potrubí má tvar U (U-registr)
- s tepelnou trubicí:
 - suché napojení - kondenzátor je zasunutý/zaklapnutý v pouzdru
 - mokré napojení - kondenzátor je přímo omývaný teplotonosnou kapalinou

Velká část trubkových válcových kolektorů využívá principu tzv. tepelných trubic - pracovní látka (v našem případě teplotonosná kapalina - čistá voda nebo líh při určitém tlaku) se díky přívodu tepla vypařuje ve výparníkové části vodivě spojené s absorberem, pára pak stoupá trubicí do kondenzační části, kde se srazí na kapalně skupenství a steče zpět do výparníku. Je nutno zajistit sklon trubice, který musí být minimálně 20 - 25°, aby mohla kapalina samovolně stékat do výparníku. Jako tepelná trubice se používá měděná trubka, výparníková část má průměr od 8 do 12 mm, kondenzační od 18 do 20 mm.

3.4.1 Trubkové kolektory s jednostěnnou trubicí

Tradiční typ vakuových kolektorů. V jednoduché uzavřené skleněné trubce je umístěn plochý absorber se selektivním povrchem. Tlak uvnitř trubky je vakuován na 1 mPa. Teplo je z absorberu odváděno tepelnou trubicí, buď přímo protékaným U-registrem, nebo přímo protékaným koncentrickým potrubím. Trubky se vyrábí v různých průměrech od 40 až do 150 mm, jsou z boritokřemičitého skla, které má vysokou pevnost a odolnost proti teplotním změnám. Obecně mají velmi dobrý přestup tepla z absorberu do teplotonosné látky, ten je zaručen hlavně ultrazvukovým nebo laserovým navařením absorberu na teplosměnné potrubí.

Trubkové kolektory s jednostěnnou trubicí jsou na vysoké technické úrovni a zajišťují vysokou účinnost, přes všechny tyto výhody se většinou jejich aplikování značně prodrazí.



Obr. č. 7 - Příčný řez trubkovým kolektorem, [4]; Vlastní zpracování.

3.4.2 Trubkové kolektory s dvoustěnnou trubkou

Kolektory s takzvanou Sydney trubkou. Jedná se o koncentrickou dvoustěnnou trubku kompletně vyrobenou ze skla, která se konstrukcí „podobá“ klasické termosce. Vnitřní trubka plní roli absorbéru, je pokryta selektivním absorpčním povrchem a zachycuje tak sluneční záření, zatímco vnější trubka slouží jako ochrana před atmosférickým dopadům. Mezi oběma trubkami je vakuum.

Trubky se vyrábí z boritokřemičitého skla, tedy ze stejného skla jako kolektory s jednostěnnou trubkou, dále mají podobný i systém odvodu tepla - přímo protékaným trubkovým registrem (U-registr) nebo tepelnou trubicí. Absorpční povrch je keramicko-kovový vícevrstvý povlak na bázi hliníku. Podle kvality povlaku jsou Sydney trubky k dostání buď standardní, nebo nadstandardní, ty pak mají výrazně lepší vlastnosti (pohltivost, emisivita, stagnační teploty).

U tohoto druhu kolektorů bývá problém s přenosem tepla vnitřní absorpční trubky do teplonosné kapaliny. Řešením je teplosměnná vodivá lamela, nejčastěji vyrobená z hliníku, ta by měla mít dobře vodivý styk s vnitřním povrchem absorpční trubky i s potrubím na odvod tepla, jinak špatný přenos tepla sníží účinnost kolektoru.

Na rozdíl od trubkových kolektorů s plochým absorbérem, nemáme problém utěsnit vakuum, takže jsou levnější.

3.5 Koncentrační kolektory

Koncentrační kolektory využívají přímého slunečního záření, které pak pomocí zrcadel soustřeďují do ohniska, ve kterém je umístěn absorbér. Podle tvaru ohniska je rozlišujeme na:

- koncentrační kolektory s lineárním ohniskem - parabolický reflektor, Winstonův kolektor, kolektor s lineární Fresnellovou čočkou
- koncentrační kolektory s bodovým ohniskem - paraboloidní reflektor, fasetové reflektory, heliostaty

3.5.1 Koncentrační kolektory s Fresnellovou lineární čočkou

Jedná se o klasickou válcovou čočku s lineárním ohniskem, v podstatě převedenou do „placaté“ podoby. Čočka koncentruje přímé sluneční záření do lineárního absorbéru, v němž protéká teplonosná kapalina.

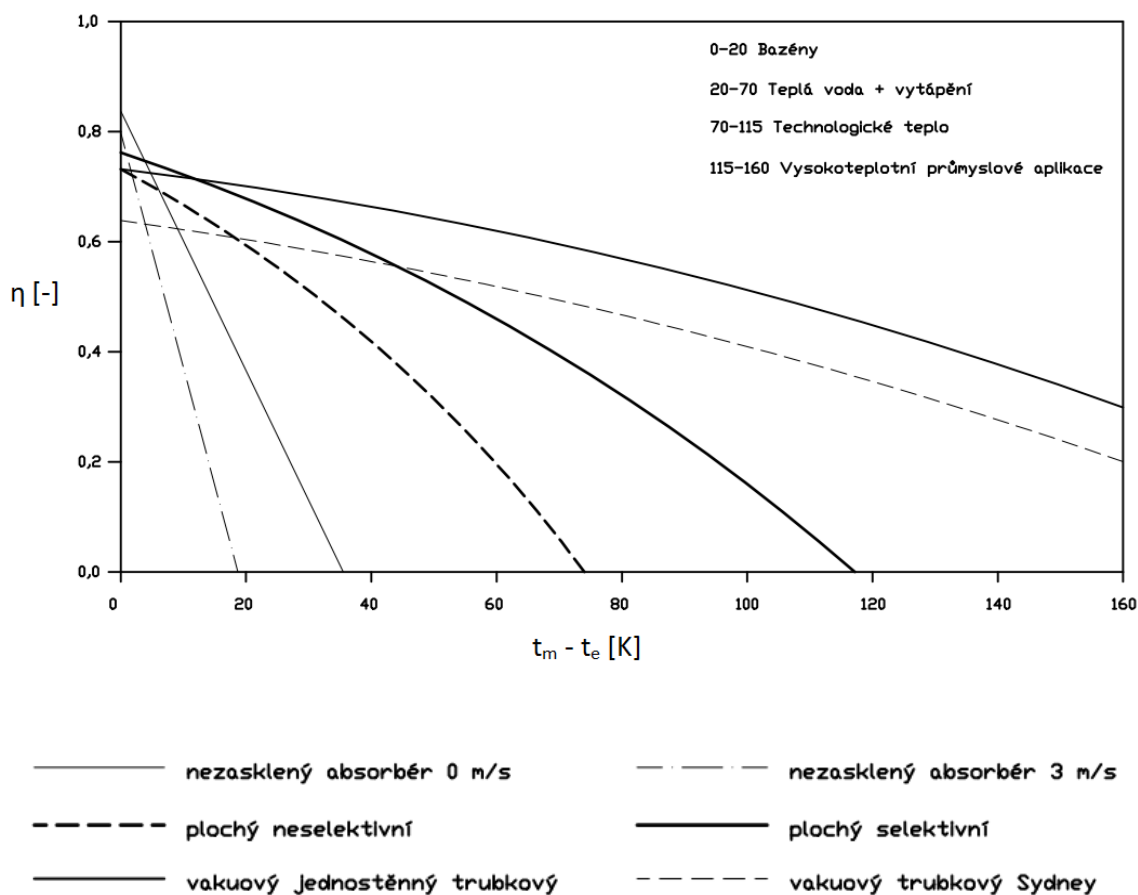
Umístěním čočky do zasklení budovy (např. okno) se dá spojit pasivní a aktivní využití sluneční energie do jednoho zařízení, což je výhodné.

3.5.2 Koncentrační trubkové kolektory

Trubkové vakuové Sydney kolektory mají válcový tvar, proto se k nim mnohdy instalují i odrazná zrcadla (reflektory), jejichž cílem je soustřeďovat co nejvíce sluneční energie na absorbér. Podle ceny jsou k dostání reflektory ploché nebo pro vyšší účinek opticky tvarované reflektory (parabolické koncentrátoři). [4]

4 Účinnostní charakteristiky jednotlivých typů kolektorů

Na Českém trhu se pohybuje velké množství různých typů solárních tepelných kolektorů, v grafu níže můžeme porovnat účinnostní křivky těchto jednotlivých typů při hodnotě slunečního ozáření 800 W/m^2 , dále jsou vyznačeny rozsahy provozních teplotních rozdílů mezi střední teplotou teplonosné kapaliny (t_m) a teplotou okolí (t_e) u základních použití.



Graf. č. 1 - Účinnostní charakteristiky kolektorů, [4]; Vlastní zpracování.

Z grafu vyplývá, že s narůstající teplotou rostou také tepelné ztráty do okolí, při vyšších teplotách rostou tepelné ztráty sáláním, což se v grafu projevuje jako mírné zaoblení účinnostní křivky. U nezasklených kolektorů, které mají vysokou optickou účinnost, dochází k tepelným ztrátám hlavně kvůli teplotě okolního prostředí a rychlosti proudění vzduchu.

Po srovnání křivek je logické, že pro sezónní ohřev bazénové vody nebudeme používat drahé Sydney kolektory, které mají při nízkých teplotách ještě nižší účinnost než levné bez zasklení. Pro vysokoteplotní průmyslové aplikace je pak podstatné zvolit

kolektory s velmi nízkými teplotními ztrátami - trubkové vakuové, popř. kvalitní koncentrační kolektory. [1], [4], [6]

5 Solární tepelné soustavy

Sluneční systémy určené pro energetické zásobování budov jsou velmi rozšířené. V České republice se nejčastěji používají kapalinové solární kolektory s nuceným oběhem. Solární soustavy se dají rozlišit podle několika hledisek:

- aplikace
 - předehřev teplé vody
 - kombinovaná příprava teplé vody a vytápění
 - příprava teplé vody
 - ohřev bazénové vody
 - průmyslové aplikace
 - solární chlazení a klimatizace
- velikosti kolektorové plochy
 - malé solární soustavy
 - střední solární soustavy
 - velké solární soustavy
- měrného průtoku teplonosné kapaliny
 - s nízkým průtokem
 - s vysokým průtokem
 - s proměnným průtokem
- podle konstrukce
 - soustavy uzavřené (drtivá většina)
 - soustavy vyprazdňovací

5.1 Solární soustavy pro přípravu teplé vody

Při zavádění úspor v budovách je využití sluneční energie logickým a vhodným řešením, protože právě příprava teplé vody představuje zásadní část energetické potřeby. Kromě obytných budov jsou vhodné pro zařízení, kde je vysoká spotřeba teplé vody stejná po celý rok nebo pro místa, kde jsou špičky odběru v letním období - např. pro domovy důchodců, ústavy sociální péče, sportovní centra, hotely atd.

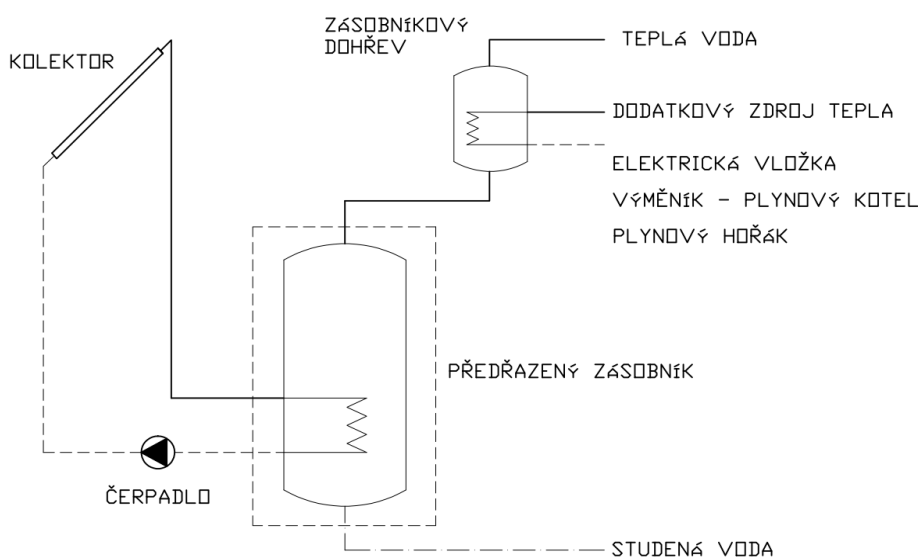
5.1.1 Maloplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody

Tento typ soustavy se používá zpravidla nejčastěji u rodinných domů, jejich primární vlastnost je jednoduchá regulace na základě rozdílu teplot mezi kolektorem a zásobníkem. Běžná spotřeba teplé vody v domácnosti je 30 až 50 l na osobu za den, což

znamená plochu kolektorů 2 až 6 m². Při provozu maloplošných slunečních soustav, který obvykle využívá vysokého průtoku teplotnosné kapaliny (50-70 l/(h·m²) plochy kolektorů), dochází k nárůstu teploty teplotnosného média o 7 až 10 K. Používají se soustavy s předehřívacím zásobníkem, nebo s bivalentním zásobníkem.

Solární soustavy s předehřívacím zásobníkem

Monovalentní zásobník předehřívá vodu ve spodní části, jeho objem je asi 1,5 až 2krát větší, než denní spotřeba teplé vody. Kapalina pak dále proudí do dohřívacího zásobníkového nebo průtokového ohříváče, kde se dohřeje, pokud nemá na výstupu ze spodního zásobníku dostatečnou teplotu.

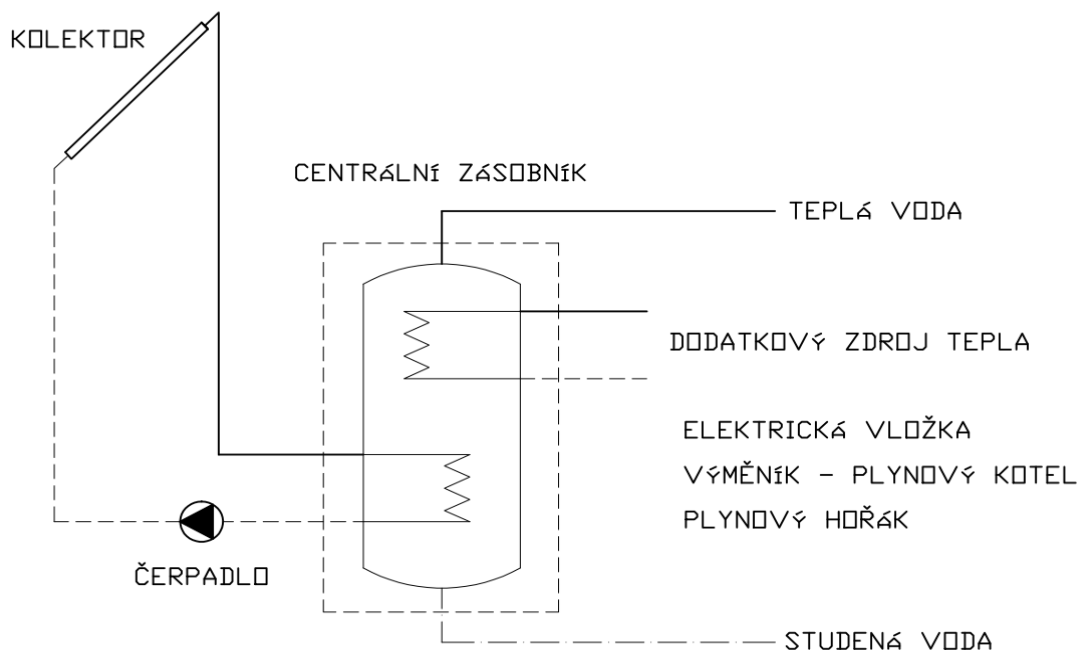


Obr. č. 8 - Schéma soustavy s předřazeným zásobníkem, [4]; Vlastní zpracování.

Solární soustavy s bivalentním zásobníkem

Ve své dolní části obsahuje bivalentní zásobník solární výměník, v té horní je umístěn dodatek tepla, který udržuje výše situovanou pohotovostní část zásobníku na požadované teplotě.

Výhodou je celistvé provedení zásobníku a úspora prostoru - zabírá méně místa. Naopak mezi nevýhody patří částečné ovlivnění spodní části dohřevem a možné ztráty při špatně zkonstruovaném zásobníku.



Obr. č. 9 - Schéma soustavy s bivalentním zásobníkem, [4]; Vlastní zpracování.

5.1.2 Středně a velkoplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody

Jedná se o soustavy s kolektorovou plochou nad 20 m^2 , jsou používány v hotelech, ústavech sociální péče, nemocnicích, bytových domech, sportovních střediscích atd. Pro velkoplošné soustavy se hodí chod s nízkým průtokem teplotnosné kapaliny, z čehož vyplývají menší tlakové ztráty, menší potřebné výkony oběhových čerpadel, menší průměry potrubí a nižší tepelné ztráty. Abychom docílili úsporného provozu, musíme soustavy s nízkým průtokem opatřit zásobníky s řízeným teplotním vrstvením.

Mezi středněplošné a velkoplošné solární soustavy řadíme tyto typy soustav:

- s centrálním zásobníkem teplé vody
- s tlakovým vyrovnávacím zásobníkem
- s beztlakovým vyrovnávacím zásobníkem
- s více vyrovnávacími zásobníky
- soustavy ve spolupráci s CZT

Protože středně a velkoplošné typy soustav nesouvisí s problematikou mé bakalářské práce, nebudu je více rozvádět a dále se jimi zabývat.

5.2 Solární soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění

Nazývají se tzv. kombinované solární soustavy. Jedná se o systémy, které umožňují využít sluneční energii obzvláště v přechodném období i k přitápění. V otopném období

nikdy nedosáhneme úplného pokrytí tepla pro vytápění ze solárních systémů, ale pouze částečného. Ekonomicky přijatelné jsou hodnoty od 15 do 35 % celkové roční potřeby tepla pro přípravu teplé vody a vytápění. Tato hodnota musí být předem určena, protože ovlivňuje návrh zařízení.

Při návrhu kombinovaných solárních soustav předpokládáme, že zařízení (dům) splňuje následující předpoklady:

- je dostatečně tepelně izolovaný a je opatřen kvalitními okny
- má vlastnosti nízkoteplotní otopné soustavy - podlahové vytápění, vhodná otopná tělesa
- splňuje vhodnou návaznost na ostatní zdroje tepla a technologie v budově včetně regulace
- úhel sklonu kolektoru je mezi 50 a 90°, je orientován na jih v nezastíněném místě
- máme možnost využít letní přebytky - např. akumulace, bazén, sušení

Solární kolektory pro kombinované soustavy je výhodné nastavit na sklon nad 45°, nebo je namontovat přímo do fasády domu, čímž dosáhneme rovnoměrnějších tepelných zisků a dokážeme tak zabránit stagnačním podmínkám v systému (např. vývin páry v kolektorech). Díky lepšímu dopadovému úhlu a odrazivosti paprsků od terénu nevyužité letní přebytky klesnou a zimní výtěžky se lehce zvýší.

5.2.1 Maloplošné solární kombinované soustavy

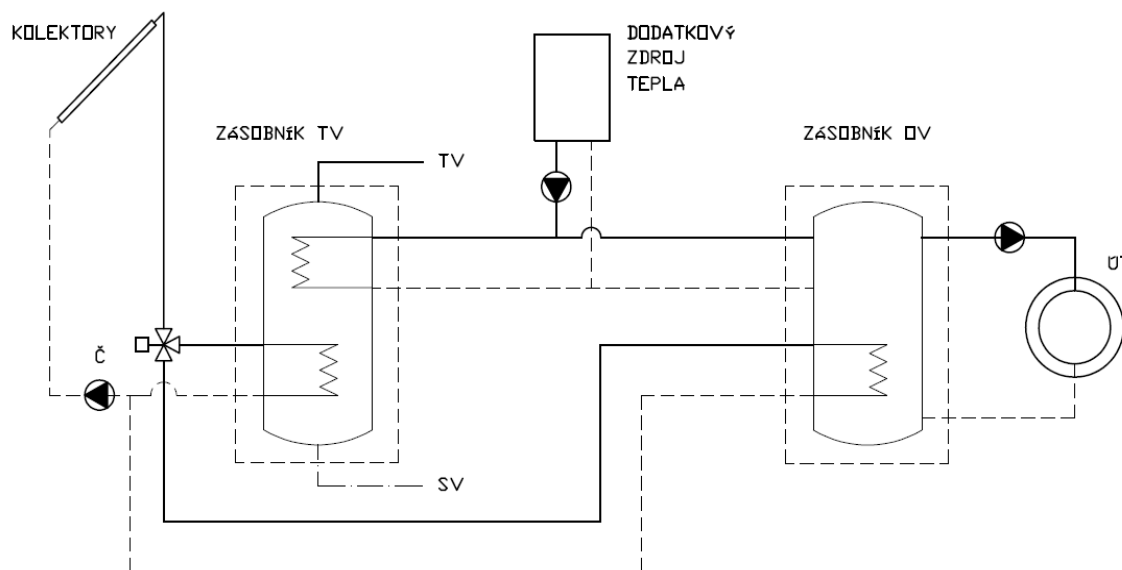
U rodinných domů vyřešíme problém stagnace tím, že letní přebytky využijeme pro ohřátí bazénové vody, nebo je odvedeme do jiného spotřebiče tepla. V případech, kdy neumíme využít letní přebytky, neměli bychom kolektorovou plochu předimenzovat.

Solární kombinovaná soustava se dvěma zásobníky

Tyto solární soustavy pracují se dvěma zásobníky - pro teplou vodu a pro otopnou vodu. Jednou možností provozu je, že soustava ohřívá nejprve zásobník teplé vody s cílovou teplotou 60 °C a v případě přebytků posléze ohřívá i zásobník otopné vody na teplotu 30 až 45 °C. Druhou možností je, že soustava ohřeje nejprve chladnější zásobník. Záleží na provozovateli, jaký způsob zvolí, nejvýhodnější ale je tyto možnosti v průběhu roku střídat podle potřeby. Na oba zásobníky je připojen dodatkový zdroj tepla, kterým můžeme zásobníky dohřát v případě nutnosti.

Výhoda soustav se dvěma tepelnými zásobníky je zvýšení účinnosti kolektorů oddělením „vysokoteplotní“ přípravy teplé vody od nízkoteplotní otopné vody. Nevýhodou

naopak může být prostornost zásobníků a rozvodů potrubí a zvýšené tepelné ztráty kvůli většímu povrchu.

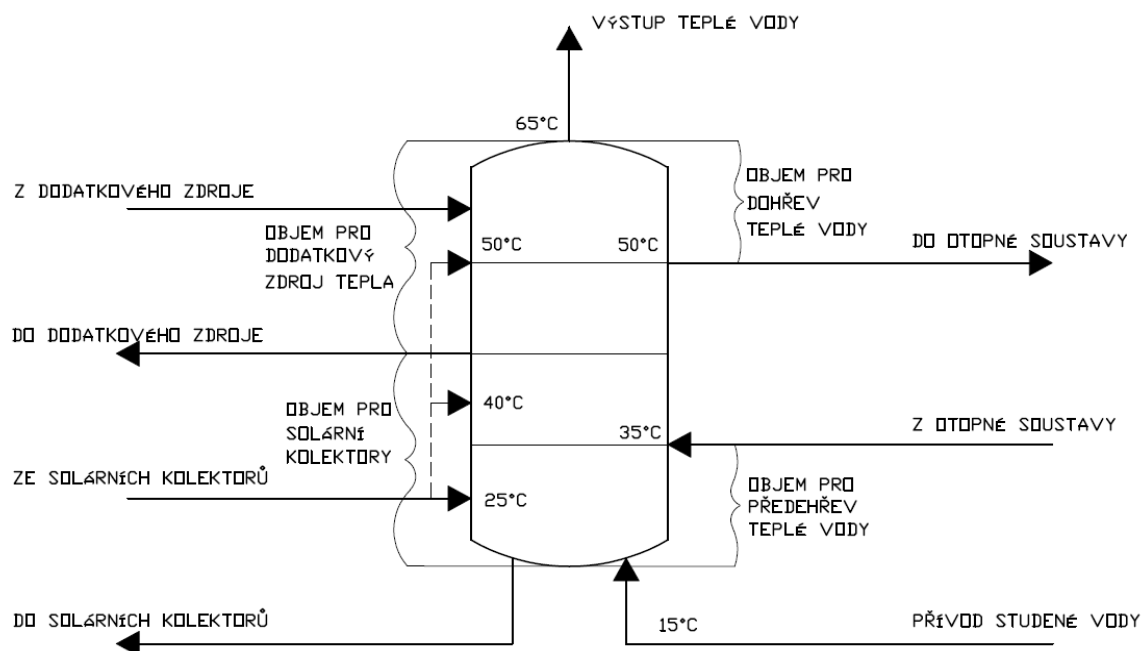


Obr. č. 10 - Schéma kombinované soustavy se dvěma zásobníky, [4]; Vlastní zpracování.

Solární kombinovaná soustava s jedním centrálním zásobníkem

Zásadním faktorem u těchto soustav je schopnost teplotního rozvrstvení objemu zásobníku, čímž docílíme vysokých solárních zisků. Nejvyšší teploty (45 až 65 °C) jsou udržovány v horní části zásobníku. Voda ve střední části se využívá pro přitápění (teploty okolo 30 až 50 °C). V dolní části zásobníku se zdržuje kapalina nejchladnější, podle velikosti soustavy je pak do ní zaveden vnitřní trubkový výměník nebo je k ní připojen externí deskový výměník.

Výhody centrálního zásobníku jsou nižší tepelné ztráty, menší prostorové řešení, jednoduchost montáže a nižší pořizovací náklady, protože objem zásobníku tvoří otopná voda, uživatel nemá vysoké požadavky na hygienu.



Obr. č. 11 - Rozdělení teplotních zón v centrálním zásobníku pro kombinované soustavy, [4]; Vlastní zpracování.

5.2.2 Velkoplošné solární kombinované soustavy

Možnosti zapojení u velkoplošných solárních soustav jsou podobné. Solární systém ohřívá vyrovnávací zásobník, ke kterému je zapojen dodatečný zdroj tepla. Od maloplošných soustav se liší zapojením v části okruhu spotřeby a v nutnosti použití výkonných deskových výměníků tepla.

Mezi velkoplošné solární kombinované soustavy řadíme:

- Solární kombinovaná soustava s centrální přípravou teplé vody (4trubkový rozvod)
- Kombinované solární soustavy s lokální přípravou teplé vody (2trubkový rozvod)

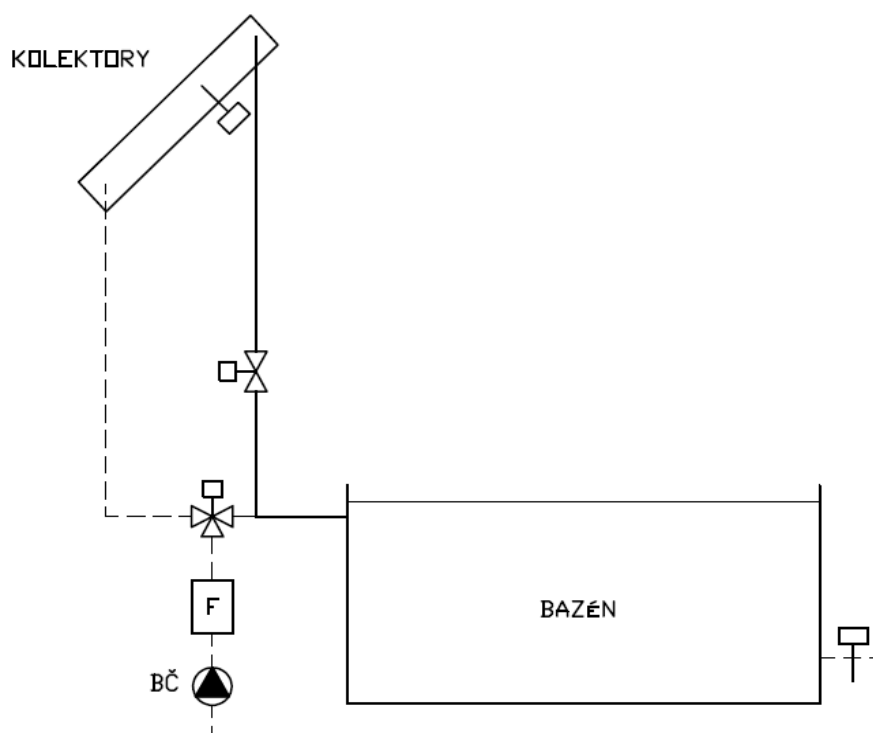
5.3 Solární soustavy pro ohřev bazénové vody

Ohřívání bazénové vody bývá snadným využitím slunečních systémů, hlavně díky nízké požadované teplotě (do 30 °C). Zapojení solárních soustav je velmi jednoduché, protože bazén je sám zásobníkem tepla a zároveň i spotřebičem. Bazénová voda buď sama protéká kolektory, nebo používáme tepelný výměník.

5.3.1 Solární soustavy pro otevřené venkovní bazény

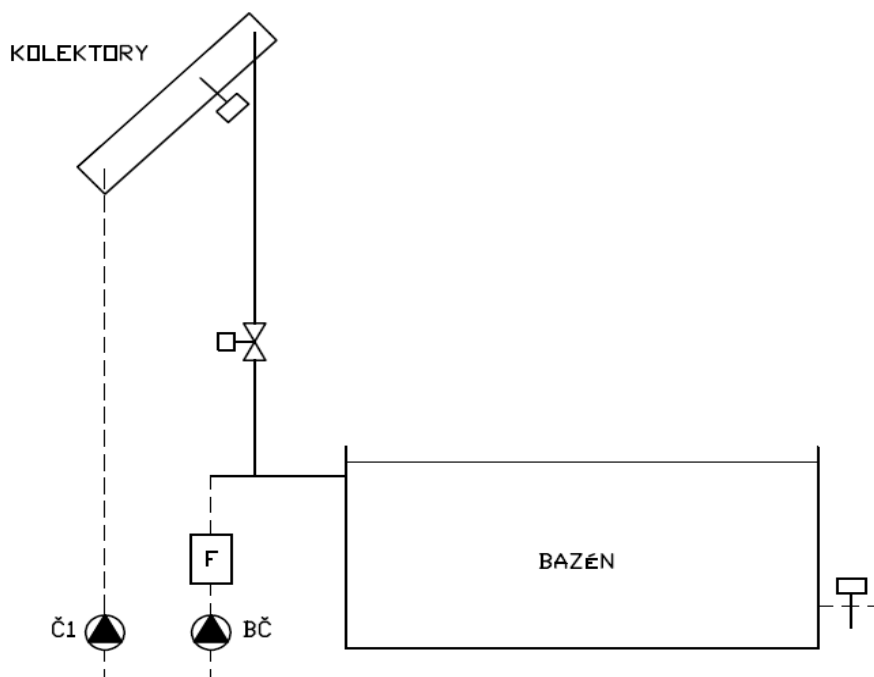
Používáme levné nezasklené plastové absorbéry, jenž v letním období zcela splní svůj účel.

V případech, kdy je filtrační čerpadlo zapnuto během provozu bez přerušení, zapojujeme kolektorové pole na stejnou větev filtrace. Bazénové čerpadlo se navrhuje tak, aby překonalo tlakovou ztrátu kolektorů. V kolektorech a na výstupu z bazénu jsou nainstalovaná tepelná čidla, která snímají tyto teploty, a podle jejich rozdílu se trojcestným ventilem reguluje přítok teplé vody z kolektorů.



Obr. č. 12 - Zapojení kolektorů pro ohřev bazénové vody s trojcestným ventilem, [4]; Vlastní zpracování.

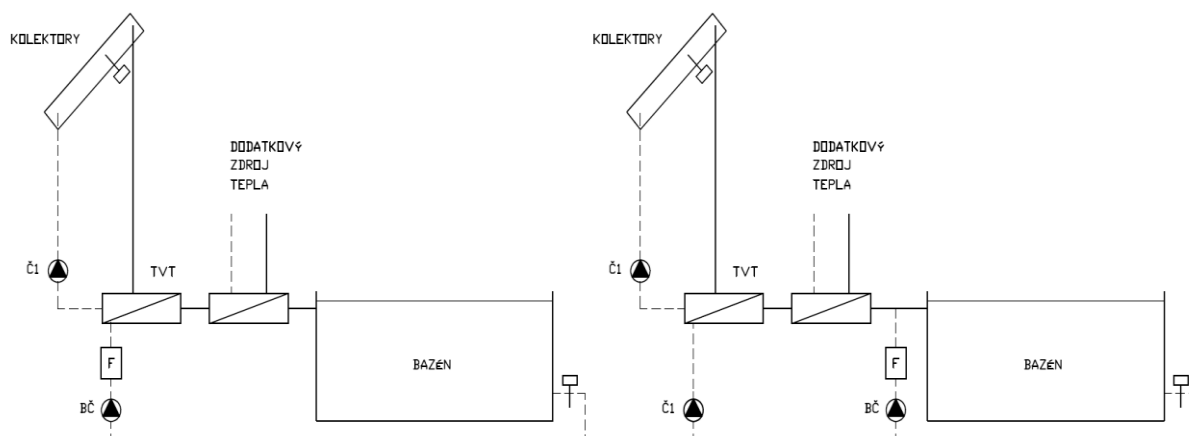
Druhou možností je připojení samostatné větve s vlastním oběhovým čerpadlem. Toto zapojení uvažujeme tehdy, když filtrační čerpadlo běží jen v určitých periodách. Při chodu filtračních čerpadla se ohřátá voda z kolektorů přimíchává do bazénové vody.



Obr. č. 13 - Zapojení kolektorů pro ohřev bazénové vody se samostatným oběhovým čerpadlem, [4]; Vlastní zpracování.

5.3.2 Solární soustavy pro kryté vnitřní bazény

U těchto typů soustav počítáme s celoročním provozem, proto se volí zapojení s dodatkovým zdrojem tepla, kolektory použijeme zasklené se selektivním povrchem a kapalina obíhající v systému bude nemrznoucí směs. Bazénovou vodu izolujeme od solárního okruhu výměníkem tepla, za tím pak následuje výměník dohřevu. Zapojení sekundárního okruhu je stejné jako u soustav pro otevřené venkovní bazény. [4]



Obr. č. 14 - Schéma zapojení soustavy pro kryté vnitřní bazény, [4]; Vlastní zpracování.

6 Návrh slunečního systému

V následující části se již budu zabývat návržením vhodných solárních kolektorů na rodinný domek, ve kterém trvale bydlím. Dům se nachází necelých patnáct kilometrů od Opavy a jeho střecha má sklon přibližně 30°. Je celoročně obýván šesti osobami, denní spotřeba teplé vody na jednu osobu je zhruba 55 [l], což je asi 55 [kg]. Voda bude ohřívána ze 7 [°C] na 65 [°C].

6.1 Výpočet měsíčních potřeb tepla pro přípravu TV

Při návrhu slunečních kolektorů je zapotřebí určit měsíční potřeby tepla pro přípravu teplé vody. K tomu však musím nejprve vypočítat měsíční spotřebu teplé vody rodinného domu podle následujícího vztahu:

$$m_m = m \cdot o \cdot i, \quad [\text{kg}] \quad (1)$$

kde:

- o = počet osob [-],
- m = denní spotřeba teplé vody pro jednu osobu na den [kg],
- i = počet dní v měsíci [-],
- m_m = měsíční spotřeba teplé vody pro 6 osob [kg],

$$m_m = m \cdot o \cdot 30 = 55 \cdot 6 \cdot 30 = 9\,900 \text{ [kg]}.$$

Samotnou měsíční potřebu tepla pro přípravu teplé vody pak vypočtu podle:

$$Q_m = m_m \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta t \cdot \eta, \quad [\text{kJ}] \quad (2)$$

kde:

- $c_{\text{H}_2\text{O}}$ = měrná tepelná konstanta vody, rovná se 4,2 [kJ · kg⁻¹ · K⁻¹],
- Δt = rozdíl teplot [°C],
- η_{15} = účinnost při uvažovaných ztrátách 15%, rovná se 1,15 [-],

$$Q_m = m_m \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta t \cdot \eta_{15} = 9\,900 \cdot 4,2 \cdot (65-7) \cdot 1,15 = 2\,773\,386 \text{ [kJ]}.$$

Výslednou hodnotu dále přepočítám na kWh,

$$Q_m = \frac{2773386}{3600} = \underline{770,38} \text{ [kWh]}.$$

V dalších částech výpočtu mě bude zajímat i roční potřeba tepla, tu zjistím, když předešlý výsledek vynásobím počtem měsíců v roce.

$$Q_r = Q_m \cdot 12, \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

$$Q_r = 770,38 \cdot 12 = 9244,56 [\text{kWh}].$$

6.2 Stanovení množství skutečného slunečního záření dopadajícího na plochu dané orientace

Nyní je nezbytné určit množství skutečného slunečního záření na danou plochu, v tomto případě se bude jednat o střechu mého rodinného domku. Pro tento výpočet potřebuji údaje o relativní době slunečního svitu a teoretické energii dopadající na různě skloněné plochy. Tyto hodnoty vyhledám v tabulkách níže (tab. č. 1 a tab. č. 2) a skutečné sluneční záření následně vypočtu podle vztahu:

$$Q_{\text{skut}} = \tau_{\text{rel}} \cdot Q_{\text{teor}} \cdot i, \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4)$$

kde:

- τ_{rel} = relativní doba slunečního svitu [-],
- Q_{teor} = teoretická energie dopadající za den na různě skloněné plochy [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$],
- i = počet dní v měsíci [-].

τ_{rel} měsíc	Ostrava	Praha	Brno	Bratislava	Košice	Lomnický Štít
Leden	0,27	0,21	0,18	0,25	0,26	0,48
Únor	0,30	0,32	0,31	0,35	0,31	0,47
Březen	0,30	0,42	0,38	0,46	0,42	0,50
Duben	0,37	0,45	0,39	0,50	0,46	0,42
Květen	0,47	0,51	0,48	0,56	0,53	0,36
Červen	0,45	0,54	0,53	0,59	0,54	0,33
Červenec	0,55	0,55	0,56	0,66	0,58	0,37
Srpen	0,55	0,55	0,53	0,66	0,59	0,43
Září	0,43	0,53	0,50	0,63	0,57	0,52
Říjen	0,38	0,37	0,37	0,47	0,47	0,60
Listopad	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,46
Prosinec	0,18	0,14	0,12	0,20	0,23	0,48

Tab. č. 1 - Měrná doba slunečního svitu τ_{rel} [-]; [6]; Vlastní zpracování.

Úhel sklonu osluněné plochy α	Teoretický možná energie dopadající za den na plochu v jednotlivých měsících $Q_{\text{teor}} [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$						
	XII.	I. XI.	II. X.	III. IX.	IV. VIII.	V. VII.	VI.
Azimut úhel osluněné plochy $a_s = \pm 15^\circ$ (orientace na jih)							
15°	1,51	1,99	3,41	5,42	7,35	8,75	9,42
30°	2,08	2,70	4,23	6,12	7,61	8,72	9,29
45°	2,70	3,16	4,79	6,42	7,42	8,22	8,55
60°	3,10	3,49	5,06	6,28	6,98	7,16	7,13
75°	3,15	3,68	4,87	5,96	6,23	5,85	5,61
90°	3,01	3,45	4,45	5,34	4,89	4,32	4,09

Tab. č. 2 - Teoreticky možná energie dopadající za den na různě skloněné plochy; platí pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry $Z = 3$; [6]; Vlastní zpracování.

Níže uvádím vzorový výpočet pro jeden měsíc (Leden), hodnoty pro všechny měsíce jsou uvedeny v tabulce 3.

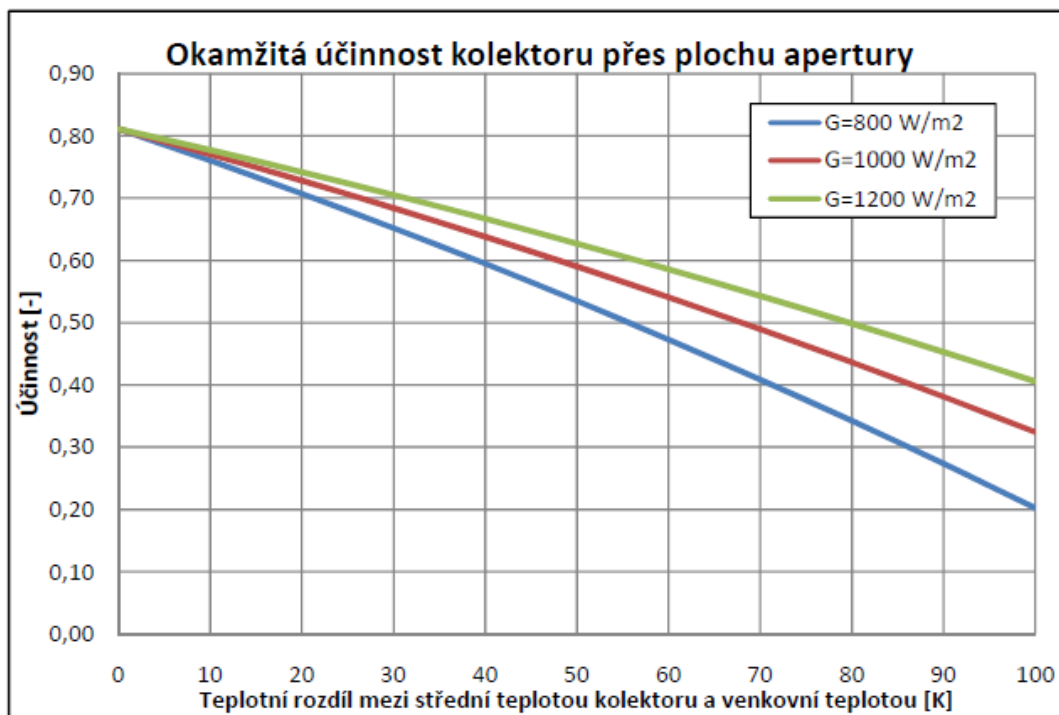
$$Q_{\text{skut}} = \tau_{\text{rel}} \cdot Q_{\text{teor}} \cdot i = 0,27 \cdot 2,70 \cdot 30 = 21,87 [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
$Q_{\text{skut}} [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$	21,87	38,07	55,08	84,48	122,95	125,42
Měsíc	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$Q_{\text{skut}} [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$	143,88	125,57	78,95	48,22	15,39	11,23

Tab. č. 3 -Skutečné sluneční záření pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování.

6.3 Volba typu kolektoru a stanovení rovnice účinnostní charakteristiky

Zvolil jsem sluneční kolektor KPH1. Jedná se o plochý vanový kolektor s hliníkovým rámem. Absorbér je také vyroben z hliníku s vysoce selektivním povrchem Eta Plus, samotný absorbér je zasklen kaleným nízko-železitým prizmatickým sklem. V grafu č. 2 je zobrazena okamžitá účinnost mnou zvoleného kolektoru. [9]



Graf. č.2 - Okamžitá účinnost kolektoru přes plochu apertury; [9]

Technické údaje o slunečním kolektoru (např. hmotnost, plocha, maximální pracovní tlak atd.) jsou uvedeny v technickém listu kolektoru (příloha č. 2). Zde uvádím pouze zásadní parametry, se kterými budu dále počítat:

- $\eta_0 = 0,811$ [-]; optická účinnost kolektoru
- $a_1 = 3,968$ [W/(m²K)]; lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
- $a_2 = 0,009$ [W/(m²K²)]; kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru

Rovnice účinnostní charakteristiky kolektoru:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot A - a_2 \cdot A^2 \cdot I_{stř} = \eta_0 - a_1 \cdot A - a_2 \cdot A^2 \cdot \frac{Q_{teor}}{\tau_{teor}}, \quad [-] \quad (5)$$

kde:

- A = redukovaná teplota pro jednotlivý měsíc [-],
- τ_{teor} = teoretická doba slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců [h],
- Q_{teor} = teoretická energie dopadající za den na různě skloněné plochy [kWh·m⁻²].

6.4 Stanovení průměrné účinnosti kolektoru v jednotlivých měsících.

K určení redukované teploty A pro jednotlivé měsíce jsou nutné informace o střední teplotě okolí v době slunečního svitu (tab. č. 4), o teoretické době slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců (tab. č. 5) a informace týkající se teoretické energie dopadající za den na různě skloněné plochy (tab. č. 2), následně vyjdu ze vztahu:

$$A = \frac{t_m - t_e}{\frac{Q_{\text{teor}}}{\tau_{\text{teor}}}}, \quad [-] \quad (6)$$

kde:

- t_e = střední teplota okolí v době slunečního svitu [$^{\circ}\text{C}$],
- t_m = střední teplota teplotnosné kapaliny [$^{\circ}\text{C}$].

Nejdříve ale musím vypočíst teplotu kolektoru. Tu spočtu jako aritmetický průměr z počáteční a požadované teploty vody:

$$t_m = \frac{t_2 + t_1}{2}, \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (7)$$

kde:

- t_1 = počáteční (vstupní) teplota vody [$^{\circ}\text{C}$],
- t_2 = požadovaná (výstupní) teplota vody [$^{\circ}\text{C}$],

$$t_m = \frac{t_2 + t_1}{2} = \frac{65 + 7}{2} = 36 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Měsíc	Rok					t_e [$^{\circ}\text{C}$]
	1990	1991	1992	1993	1994	
I	0,5	0,1	-0,3	0,4	3,2	0,78
II	5,1	-4,2	1,4	-1,0	-0,6	0,14
III	7,0	5,8	3,8	2,1	6,1	4,96
IV	7,8	7,4	8,5	9,3	9,2	8,44
V	14,0	10,4	14,0	16,0	13,5	13,58
VI	16,5	15,7	18,4	16,4	17,1	16,82
VII	17,5	19,5	20,3	17,5	22,0	19,36
VIII	18,1	17,9	22,6	17,7	19,2	19,10
IX	11,8	14,5	13,5	13,3	15,2	13,66

Měsíc	Rok					t _e [°C]
	1990	1991	1992	1993	1994	
X	9,5	7,5	7,2	9,2	7,6	8,20
XI	4,9	4,2	4,6	0,0	4,7	3,68
XII	-0,1	-2,1	-0,5	2,3	1,8	0,29

Tab. č.4 -Střední teplota okolí v době slunečního svitu t_o [°C]; [6]; Vlastní zpracování.

Měsíc	τ _{teor} [h]
XII	7,85
XI a I	8,26
X a II	10,12
IX a III	12,00
VIII a IV	13,90
VII a V	15,70
VI	16,34

Tab. č. 5 -Teoretická doba slunečního svitu τ_{teor} [h] v charakteristických dnech jednotlivých měsíců; [6]; Vlastní zpracování.

Níže uvádím vzorový výpočet pro jeden měsíc (Leden), hodnoty pro všechny měsíce jsou uvedeny v tabulce č. 6.

$$A = \frac{t_m - t_e}{\frac{Q_{teor}}{\tau_{teor}}} = \frac{36 - 0,78}{\frac{2700}{8,26}} = 0,1077 [-]$$

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
A [-]	0,1077	0,0858	0,061	0,0503	0,0404	0,0337
Měsíc	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
A [-]	0,030	0,031	0,0438	0,0665	0,0989	0,01348

Tab. č. 6 -Hodnoty reduované teploty pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování.

Po dosazení všech proměnných pak vypočítám účinnostní charakteristiku kolektoru (5) pro měsíc Leden. V tabulce č. 7 jsou uvedeny účinnostní charakteristiky kolektoru pro všechny měsíce.

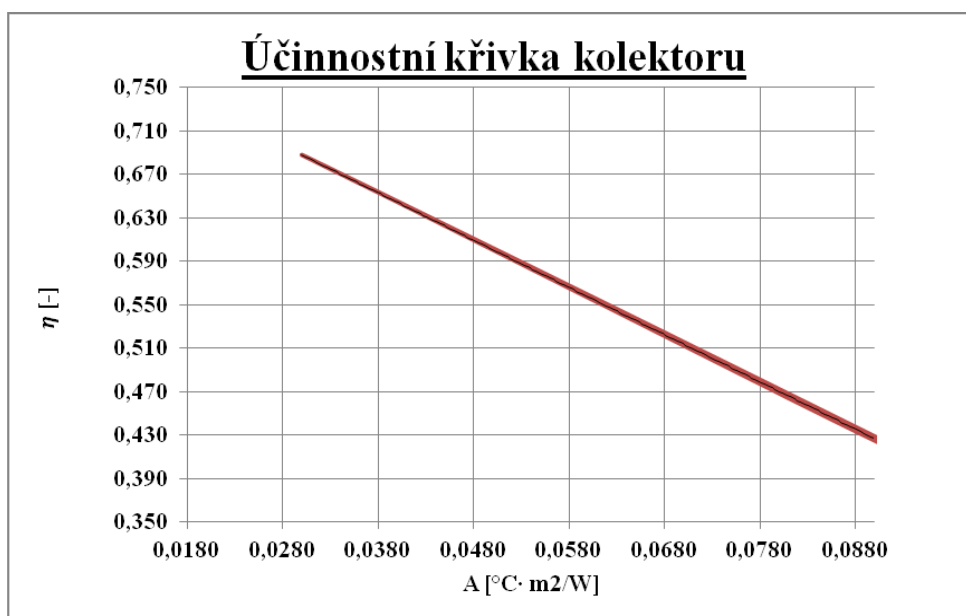
$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot A - a_2 \cdot A^2 \cdot \frac{Q_{\text{teor}}}{\tau_{\text{teor}}}$$

$$\eta = 0,811 - 3,968 \cdot 0,1077 - 0,009 \cdot 0,1077^2 \cdot \frac{2700}{8,26} = 0,349 [-]$$

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
$\eta [-]$	0,349	0,443	0,552	0,599	0,643	0,671
Měsíc	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$\eta [-]$	0,688	0,684	0,628	0,530	0,390	0,233

Tab. č. 7 -Hodnoty účinnosti kolektorů pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování.

V grafu č. 3 (níže) je uvedena účinnostní křivka kolektoru v závislosti na redukované teplotě A - rovnice (5).



Graf č. 3- Účinnostní křivka kolektoru; Vlastní zpracování.

6.5 Stanovení měrného tepelného zisku kolektoru.

Měrný tepelný zisk kolektoru zjistím vynásobením účinností kolektoru a skutečným slunečním zářením dopadajícím na plochu dané orientace pro příslušný měsíc.

$$Q_k = \eta \cdot Q_{\text{skut}}, \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (8)$$

kde:

- η = účinnost kolektoru [-],
- Q_{skut} = skutečné sluneční záření dopadající na plochu dané orientace [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$].

Níže uvádím vzorový výpočet pro jeden měsíc (Leden), hodnoty pro všechny měsíce jsou uvedeny v tabulce č. 8.

$$Q_k = \eta \cdot Q_{\text{skut}} = 0,349 \cdot 21,87 = 7,64 \text{ [kWh} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}.$$

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
$Q_k \text{ [kWh} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$	7,64	16,86	30,43	50,58	79,02	84,19
Měsíc	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$Q_k \text{ [kWh} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$	98,94	85,86	49,61	25,58	6,00	2,62

Tab. č. 8 -Hodnoty měrných tepelných zisků kolektorů pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování.

6.6 Návrh měsíce s rovnovážnou energetickou bilancí

Jako měsíc s rovnovážnou energetickou bilancí volím Duben. V Dubnu je většinou poměrně teplo a proto není potřeba zatápět a proto je zbytečné topit v kotli kvůli přípravě teplé vody. [6]

6.7 Návrh počtu m^2 kolektorové plochy

Při návrhu kolektorové plochy musím nejdříve vypočítat teoretickou plochu kolektorů:

$$S' = \frac{Q_m}{Q_k}, \quad [\text{m}^2] \quad (9)$$

kde:

- Q_k = měrný tepelný zisk kolektoru $[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$,
- Q_m = měsíční potřeba tepla pro přípravu TV $[\text{kWh}]$,
- S' = teoretická plocha kolektorů $[\text{m}^2]$,

$$S' = \frac{Q_m}{Q_k} = \frac{770,38}{50,58} = 15,23 \text{ [m}^2\text{]}.$$

6.7.1 Návrh počtu kolektorů:

Potřebný počet kolektorů zjistím podělením teoretické plochy kolektorů a plochou absorberu.

$$n = \frac{S'}{S_{\text{abs}}}, \quad [\text{ks}] \quad (10)$$

kde:

- $S' =$ teoretická plocha kolektorů [m^2],
- $n =$ počet kolektorů [ks],
- $S_{\text{abs}} =$ plocha absorberu, podle technického listu kolektoru $S_{\text{abs}} = 1,991$ [m^2],

$$n = \frac{S'}{S_{\text{abs}}} = \frac{15,23}{1,991} = 7,649 \Rightarrow 8 \text{ [ks]}.$$

6.7.2 Přepočet počtu m^2 kolektoru plochy:

V dalším kroku určím skutečnou plochu, kterou zaberou sluneční kolektory na střeše rodinného domu.

$$S = n \cdot S_{\text{abs}}, \quad [\text{m}^2] \quad (11)$$

kde:

- $S =$ skutečná plocha kolektorů,

$$S = n \cdot S_{\text{abs}} = 8 \cdot 1,991 = 15,93 \text{ [m}^2\text{]}.$$

6.8 Určení energetické bilance pro jednotlivé měsíce

Určením energetické bilance se rozumí určení přebytečné, nebo naopak nedostatečné energie k přípravě teplé vody. Jinými slovy vypočítám, kolik energie je třeba dodat v měsících, kdy slunce svítí méně, k tomu, abych zajistil měsíční potřebu tepla ve všech ročních obdobích. Vynásobením měrného tepelného zisku kolektoru a skutečnou kolektorovou plochou vypočtu zisky tepla v jednotlivých měsících ze sluneční soustavy. [6]

$$Q = Q_k \cdot S \quad [\text{kWh}] \quad (12)$$

Níže uvádím vzorový výpočet pro jeden měsíc (Leden), hodnoty pro všechny měsíce jsou uvedeny v tabulce č. 9.

$$Q = Q_k \cdot S = 7,64 \cdot 15,93 = 121,7 \text{ [kWh]}.$$

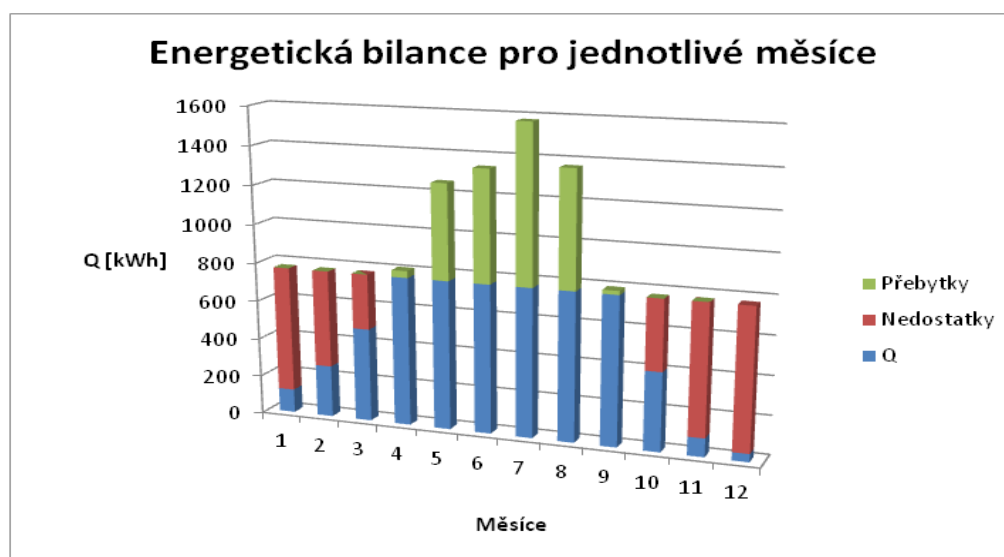
Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Q [kWh]	122	269	485	806	1259	1341
Měsíc	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Q [kWh]	1576	1368	790	407	96	42

Tab. č. 9 -Hodnoty pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování.

Z rovnice (2) jsem zjistil, že potřeba tepla na přípravu teplé vody v mé domácnosti je přibližně 770 [kWh]. Na základě této hodnoty jsem vypočítal přebytky a nedostatky tepla v jednotlivých ročních měsících (tab. č. 10) a zaznamenal jsem je do grafu níže (graf č. 4).

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Q - přebytek [kWh]	122	269	485	806	1259	1341
	0	0	0	35	488	571
Q - nedostatek [kWh]	649	502	286	0	0	0
Měsíc	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Q - přebytek [kWh]	1576	1368	790	407	96	42
	806	597	20	0	0	0
Q - nedostatek [kWh]	0	0	0	363	675	729

Tab. č. 10 -Tabulka přebytků a nedostatků pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování.



Graf č. 4 - Graf přebytků a nedostatku pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování.

6.8.1 Stanovení maximálního celoročního zisku solárního systému

Maximální celoroční zisk zjistím sečtením všech výtěžků ze solárního systému v jednotlivých měsících včetně přebytků (zelené sloupce v grafu č. 4). Sečtu tedy hodnoty v tabulce č. 10. [6]

$$Q_{\max} = \sum_{i=1}^{12} Q_i \quad [\text{kWh}] \quad (13)$$

$$Q_{\max} = 122 + 269 + 485 + 806 + 1259 + 1341 + 1576 + 1368 + 790 + 407 + 96 + 42$$

$$Q_{\max} = 8\,561 \text{ [kWh]}$$

6.8.2 Stanovení skutečného celoročního zisku solárního systému

Skutečný celoroční zisk spočítám obdobně jako maximální, ale s tím rozdílem, že nebudu uvažovat přebytky. V teplých letních měsících, kdy mnou navržený solární systém bude produkovat více energie k přípravě teplé vody, než potřebuji, budu počítat s hodnotou 770,38 [kWh] - rovnice (2).

Ve skutečnosti však teplotonosnou kapalinu v solárním systému uvádí do pohybu čerpadlo, které pohání elektrický proud. Abych zjistil skutečný solární zisk, musím do výpočtu zahrnout i energii spotřebovanou čerpadlem. Všeobecně se uvádí hodnota okolo 5 %, proto celý vzorec (14) násobím číslem 0,95. [6]

$$Q_{\text{skut}} = 6 \cdot 770,38 + \sum_{i=1}^3 Q_i + \sum_{i=12}^{10} Q_i \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

$$Q_{\text{skut}} = (6 \cdot 770,38 + 122 + 269 + 485 + 407 + 96 + 42) \cdot 0,95$$

$$Q_{\text{skut}} = 5\,741 \text{ [kWh]}$$

Solární podíl:

Za rok tedy ze slunečních kolektorů získám 5 741 [kWh] (14) sluneční energie, v případě, že tuto hodnotu podělím roční potřebou tepla k ohřátí teplé vody, která je 9 244,56 [kWh] (3), dostanu tzv. Solární podíl. Ten vyjadřuje, kolik procent z roční potřeby tepla pokryjí sluneční kolektory. [6]

$$\text{Solární podíl} = \frac{Q_{\text{skut}}}{Q_r}, \quad [\%] \quad (15)$$

kde:

- Q_{skut} = skutečný celoroční zisk ze solárního systému [kWh],
- Q_r = roční potřeba tepla k přípravě teplé vody [kWh],

$$\text{Solární podíl} = \frac{5\,741}{9\,244,56} = 0,620 \rightarrow 62 \text{ [\%]}$$

6.8.3 Výpočet celoročního solárního zisku vztaženého na 1 m² plochy kolektoru.

Při tomto výpočtu podělím celoroční solární zisk kolektorovou plochou. Pro maximální celoroční zisk bude rovnice vypadat:

$$Q'_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S}, \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (16)$$

kde:

- S = skutečná plocha kolektorů,
- Q_{max} = maximální celoroční zisk ze solárního systému,

$$Q'_{\max} = \frac{8\,561}{15,93} = 537,41 \text{ [kWh} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}.$$

Skutečný celoroční zisk vztažený na 1 m² plochy kolektoru pak vypočtu z následující rovnice:

$$Q'_{\text{skut}} = \frac{Q_{\text{skut}}}{S}, \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (17)$$

kde:

- S = skutečná plocha kolektorů,
- Q_{skut} = skutečný celoroční zisk ze solárního systému,

$$Q'_{\text{skut}} = \frac{5\,741}{15,93} = \underline{360,38} \text{ [kWh} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}.$$

6.9 Vyhodnocení návrhu z environmentálního hlediska

V předešlé části mé bakalářské práce jsem si vypočetl, že k přípravě teplé vody potřebuji 770,38 [kWh] tepla měsíčně - 9 244,56 [kWh] ročně. Abych toho dosáhl je potřeba spálení 218 [kg] černého uhlí - výhřevnost 23,1 [MJ·kg⁻¹] - v kotli, který má účinnost 55 [%]. [6], [8]

Při výpočtu kolik ročně potřebuji uhlí k ohřátí vody za rok, musím nejdříve vynásobit výše uvedené množství paliva - 218 [kg] - počtem měsíců v roce.

$$M_r = M_m \cdot 12, \quad [\text{kg}] \quad (18)$$

kde:

- M_r = množství potřebného paliva za rok [kg],
- M_m = množství potřebného paliva za měsíc [kg],

$$M_r = 218 \cdot 12 = 2616 \text{ [kg]}.$$

Díky ohřívání vody mnou navrženým solárním systémem jsem snížil potřebu zatápění v kotli, což je ohleduplnější k životnímu prostředí. Při spalování černého uhlí a jiných paliv vylétají komínem látky, které jsou zdraví škodlivé. V následující části jsem vypočítal, kolik emisí bych ročně vypustil do ovzduší, kdybych dál topil v kotli černým uhlím.

Znečišťující látky:

- TZL- tuhé znečišťující látky,
- SO_2 - oxid siřičitý,
- NO_x - oxidy dusíku,
- CO - oxid uhelnatý,
- Organické látky - jako $\sum \text{C}_x\text{H}_y$,
- CO_2 - oxid uhličitý.

Níže uvádím tabulku emisních faktorů při spalování tuhých paliv (tab. č. 11), v mém případě se bude jednat o černé uhlí.

Druh paliva	Druh topeniště	Emisní faktory (v [kg/t] spáleného paliva)					
		Tepelný výkon	TZL	SO_2	NO_x	CO	Organické látky
Černé uhlí	Pevný rošt	< 5 MW	$1,0 \cdot A_p$	$19,0 \cdot S_p$	2,0	45,0	8,90

Tab. č. 11 -Emisní faktory při spalování tuhých paliv; [6]; Vlastní zpracování.

V kolonkách tuhých znečišťujících látek a oxidu siřičitého si můžeme všimnout koeficientů A_p a S_p . Jedná se o obsah popela a síry v palivu, které závisí na granulaci. V mém případě budu počítat pro černé uhlí při granulaci 40 - 80 mm, pak budou koeficienty následující:

- A_p - obsah popela v původním vzorku tuhých paliv = 9 [%],
- S_p - obsah síry v původním vzorku tuhých paliv = 0,8 [%].

Výše jsem již vypočetl, že pro přípravu teplé vody potřebuji ročně 2,616 [t] černého uhlí. Touto sumou tedy vynásobím hodnoty, které přísluší jednotlivým znečišťujícím látkám (tab. č. 11). Z výsledku pak bude zřejmé, kolik kilogramů škodlivých látek vypustím za rok do ovzduší. [12]

Tuhé znečišťující látky:

$$Q_{\text{TZL}} = 1,0 \cdot A_p \cdot 2,616, \quad [\text{kg}] \quad (19)$$

$$Q_{\text{TZL}} = 1,0 \cdot 9 \cdot 2,616 = 23,544 [\text{kg}].$$

Oxid siřičitý:

$$Q_{\text{SO}_2} = 19,0 \cdot S_p \cdot 2,616, \quad [\text{kg}] \quad (20)$$

$$Q_{\text{SO}_2} = 19,0 \cdot 0,8 \cdot 2,616 = 39,763 [\text{kg}].$$

Oxidy dusíku:

$$Q_{\text{NOX}} = 2,0 \cdot 2,616, \quad [\text{kg}] \quad (21)$$

$$Q_{\text{NOX}} = 5,232 [\text{kg}].$$

Oxid uhelnatý:

$$Q_{\text{CO}} = 45,0 \cdot 2,616, \quad [\text{kg}] \quad (22)$$

$$Q_{\text{CO}} = 117,720 [\text{kg}].$$

Organické látky:

$$Q_{\text{Org}} = 8,90 \cdot 2,616, \quad [\text{kg}] \quad (23)$$

$$Q_{\text{Org}} = 23,282 [\text{kg}].$$

Při výpočtu emisního faktoru CO_2 - oxidu uhličitého pro černé uhlí, se uvádí všeobecný vzorec - černé uhlí 0,33 t CO_2 /MWh výhřevnosti paliva. Po úpravě pak dostanu výraz v následující podobě:

$$Q_{\text{CO}_2} = \frac{0,33}{3600} \cdot Q_i \cdot 2\,616, \quad [\text{t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (24)$$

kde:

- Q_i - výhřevnost černého uhlí = 23,1 $[\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$.

$$Q_{\text{CO}_2} = \frac{0,33}{3600} \cdot 23,1 \cdot 2\,616 = 5,539 \text{ [t}_{\text{CO}_2}\cdot\text{kg}^{-1}\text{]}$$

V kapitole, kde jsem počítal skutečný celoroční zisk ze solárního systému, jsem díky solárnímu podílu zjistil, že mnou navržený sluneční systém pokryje 62 % potřeby tepla pro přípravu teplé vody. Zbýlých 38 % tedy budu muset dodat spálením černého uhlí, což vyjadřuje asi 1 044 kg černého uhlí ročně. Nyní tedy musím spočítat emise vzniklé po spálení tohoto množství paliva. Výpočet je obdobný jako předešlý, proto uvedu pouze výsledné hodnoty. [6], [8]

Tuhé znečišťující látky:

$$Q_{\text{TZL}} = 9,396 \text{ [kg]}.$$

Oxid siřičitý:

$$Q_{\text{SO}_2} = 15,868 \text{ [kg]}.$$

Oxidy dusíku:

$$Q_{\text{NOX}} = 2,088 \text{ [kg]}.$$

Oxid uhelnatý:

$$Q_{\text{CO}} = 46,980 \text{ [kg]}.$$

Organické látky:

$$Q_{\text{Org}} = 9,291 \text{ [kg]}.$$

Oxid uhličitý:

$$Q_{\text{CO}_2} = 2,210 \text{ [t}_{\text{CO}_2}\cdot\text{kg}^{-1}\text{]}.$$

Právě jsem si vypočítal, kolik bych teoreticky měl ušetřit zplodin ročně používáním slunečních kolektorů. Avšak jak jsem již uvedl v předchozích kapitolách, abych dostal skutečnou hodnotu, musím od právě vypočtených emisí odečíst emise vzniklé čerpadlem. Výše uvedených 5 % energie, kterou mi odebere čerpadlo, činí 302,15 [kWh], tj. 1,087 [GJ]. Touto hodnotou pak vynásobím příslušné koeficienty v tabulce níže (tab. č. 12). [6]

	Emisní faktory pro systémovou elektřinu [kg/GJ]					
Typ zdroje emisí	TL	SO ₂	NO _x	CO	Organické látky	CO ₂
Elektřina-systémové zdroje (včetně jaderných a vodních)	0,02591	0,48937	0,41569	0,03930	0,03086	325,00000

Tab. č. 12 -Emisní faktory pro systémovou elektřinu; [6]; Vlastní zpracování.

Výpočet je obdobný jako předešlý, proto uvedu pouze výsledné hodnoty.

Tuhé znečišťující látky:

$$Q_{\text{TZL}} = 0,028 \text{ [kg]}.$$

Oxid siřičitý:

$$Q_{\text{SO}_2} = 0,531 \text{ [kg]}.$$

Oxidy dusíku:

$$Q_{\text{NO}_x} = 0,451 \text{ [kg]}.$$

Oxid uhelnatý:

$$Q_{\text{CO}} = 0,043 \text{ [kg]}.$$

Organické látky:

$$Q_{\text{Org}} = 0,034 \text{ [kg]}.$$

Oxid uhličitý:

$$Q_{\text{CO}_2} = 353,275 \text{ [kg]}.$$

Výsledné emise jsem sečetl a zapsal do tabulky níže (tab. č. 13). Znaménka plus a minus ve sloupci „Rozdíl“ znázorňují o kolik více, nebo naopak méně spalin vypouštím do ovzduší.

Znečišťující látka	Výchozí stav [kg/rok]	Konečný stav [kg/rok]	Rozdíl [kg/rok]
TZL	23,544	9,424	-14,120
SO ₂	39,763	16,399	-23,364
NO _x	5,232	2,539	-2,693
CO	117,720	47,023	-70,697
Organické látky	23,282	9,325	-13,957
CO ₂	5,539	353,277	+347,738

Tab. č. 13 - Přehled výsledných emisí; [6]; Vlastní zpracování.

6.10 Vyhodnocení návrhu z ekonomického hlediska

Ročně je zapotřebí 2 616 [kg] černého uhlí k tomu, abych splnil nároky na teplou vodu pro všechny obyvatele v mém rodinném domě. Z toho 62 [%] energie pro její přípravu pokryje mnou navržený solární systém, což je přibližně 1 572 [kg] uvedeného paliva.

Průměrná cena černého uhlí za první čtvrtletí roku 2014 byla 5,10 [Kč] za jeden kilogram. Tuto sumu tedy vynásobím množstvím ušetřeného paliva za rok a pak zjistím, kolik peněz za rok díky mému solárnímu systému ušetřím. [6], [8]

$$RU = 1\,572 \cdot 5,10, \quad \text{[Kč]} \quad (25)$$

kde:

- 1 572 = množství ušetřeného paliva za rok [kg],
- 5,10 = cena jednoho kilogramu černého uhlí [Kč],
- RU = roční úspora [Kč],

$$RU = 1\,572 \cdot 5,10 = 8\,017,2 \text{ [Kč]}.$$

6.10.1 Volba čerpadla a zásobníku:

Nyní musím sečíst celkové investiční náklady na solární soustavu. Výše jsem již stanovil, že budu potřebovat 8 [ks] slunečních kolektorů KPH1, cena jednoho kusu je 15 125 [Kč]. Dále budu potřebovat čerpadlo, které uvede do oběhu teplonosnou kapalinu v celém systému, volím tedy čerpadlo S1 Solar 1-3/4", jehož cena činí 7 127 [Kč]. Dalším prvkem je zásobník teplé vody, zvolil jsem RBC 400, který má objem 400 [l], kvůli vysoké spotřebě teplé vody v domácnosti. Jeho cena je 29 705 [Kč]. Pro bližší charakteristiku

uvádím v příloze č. 3 technický list daného zásobníku. Celkové investiční náklady tedy vypočtu následovně:

$$IN = 8 \cdot K + \check{C} + Z, \quad [\text{Kč}] \quad (26)$$

kde:

- IN = celkové investiční náklady na solární systém [Kč],
- K = cena jednoho slunečního kolektoru KPH1 = 15 125 [Kč],
- \check{C} = cena oběhového čerpadla = 7 127 [Kč],
- Z = cena zásobníku teplé vody = 29 705 [Kč],

$$IN = 8 \cdot 15\,125 + 7\,127 + 29\,705 = 157\,832 \text{ [Kč]}.$$

Protože jsem do výpočtu (26) nezahrnul náklady na rozvody, expanzní nádobu, pojistný ventil a ostatní příslušenství, zaokrouhluji celkové investiční náklady na konečných 170 000 [Kč]. [6], [10], [11]

6.10.2 Doba návratnosti:

Nejdříve si vypočtu prostou dobu návratnosti τ_p a to tak, že jednoduše podělím celkové investiční náklady ročními úsporami (27).

$$\tau_p = \frac{IN}{RU}, \quad [r] \quad (27)$$

kde:

- IN = celkové investiční náklady na solární systém = 170 000 [Kč],
- RU = roční úspory = 8 017 [Kč],
- τ_p = prostá doba návratnosti [r],

$$\tau_p = \frac{170\,000}{8\,017} = 21,2 \text{ [r]}.$$

Dále se počítá tzv. diskontovaná doba návratnosti, ale protože solární systémy jsou dlouhodobá investice, byl by tento výpočet dost nejistý.

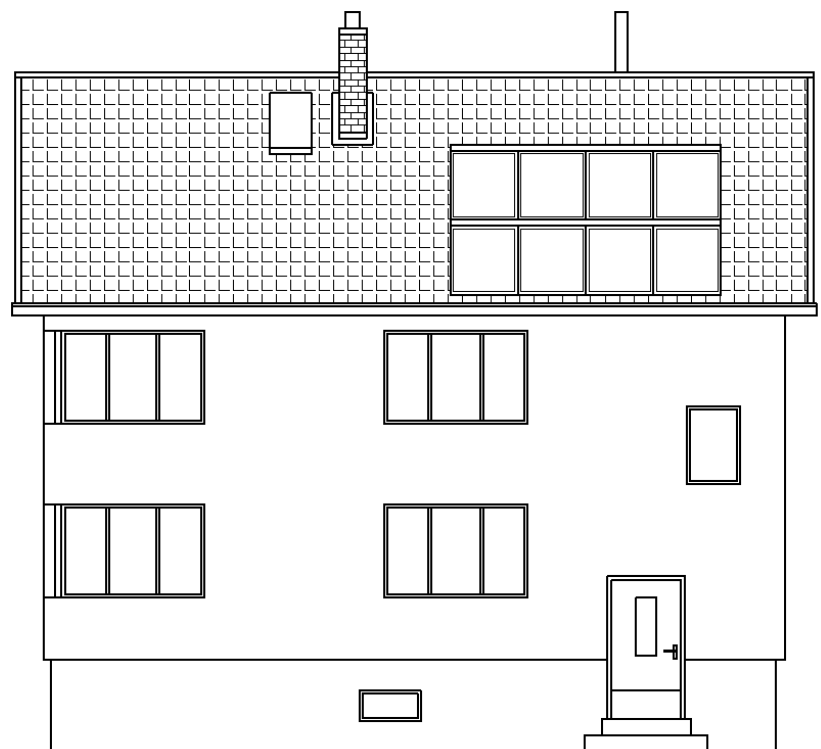
Výrobce kolektorů uvádí, že díky použití kvalitních materiálů se jeho produkty vyznačují extrémně dlouhou životností, která přesahuje 25 let. Životnost solárního systému je tedy vyšší než předpokládaná doba návratnosti, z toho vyvozují závěr, že sluneční

kolektory pro ohřev vody se mi **vyplatí** aplikovat. Kdyby byla životnost zařízení menší, než doba návratnosti, nemělo by smysl do tohoto zdroje energie investovat. [6]

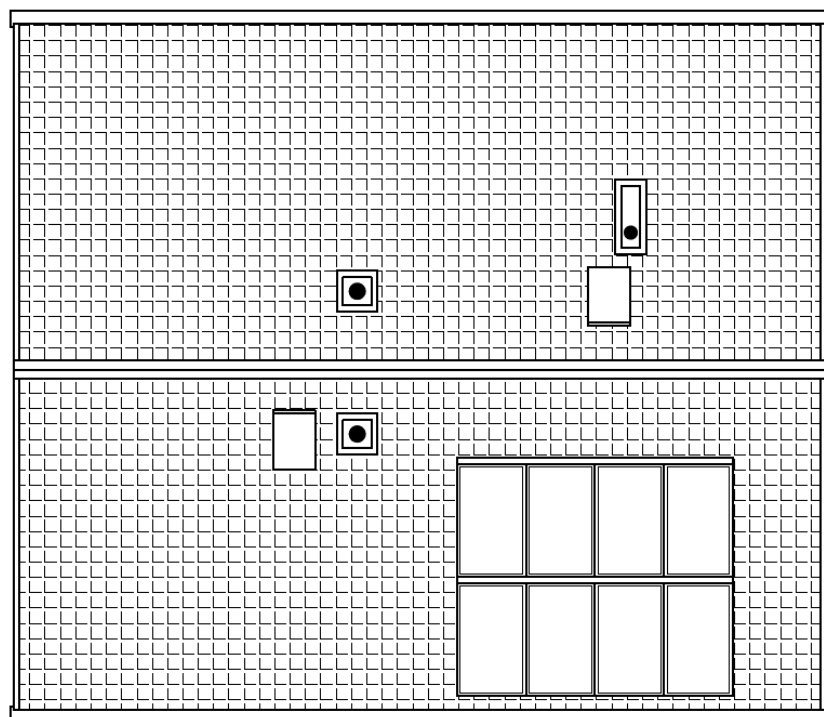
6.11 Grafická část

Jak jsem se již zmínil v předchozích kapitolách mé bakalářské práce, jako způsob zapojení solární soustavy jsem zvolil soustavu s nuceným oběhem. To znamená, že teplotonosnou kapalinu, proudící v kolektorech a potrubí uvádí do pohybu oběhové čerpadlo, v mém případě se jedná o čerpadlo S1 Solar1-3/4". Tepelná energie získaná z kolektorů se odvádí do zásobníku, potom díky výměníku tepla ohřeje studenou vodu. Schéma zapojení celé soustavy včetně popisu uvádím v příloze č. 1.

Solární kolektory budou nainstalovány na střeše rodinného domku na pravé straně (jižní pohled). Jsou situovány na její jižní straně, za účelem dosažení co nejvyšší efektivnosti. Na nákresech níže (obr. č. 15 a obr. č.16) jsem zjednodušeně nakreslil uvažovaný dům s již namontovanými kolektory. Pro větší jasnost a představivost jsem nakreslil pohled na dům z jižní strany i jeho půdorys.



Obr. č. 15 - Pohled jižní; Vlastní zpracování.



Obr. č. 16 - Půdorys domu; Vlastní zpracování.

Závěr

Z posledních kapitol mé bakalářské práce je zřejmé, že mnou zvolený solární systém s kolektorem KPH1 a oběhovým čerpadlem S1 Solar 1-3/4" je o mnoho ekologičtější způsobem ohřevu vody, než jak tomu doposud bylo pomocí zatápění černým uhlím.

V části ekonomických výpočtů jsem vypočetl, že předpokládaná doba návratnosti investice se pohybuje okolo jednadvaceti let a tří měsíců, kdežto životnost celé solární soustavy je až pětadvacet let. Doba návratnosti je tedy o pár let kratší, proto jsem došel k závěru, že projekt je z finančního pohledu na věc rovněž výhodný.

Seznam použité literatury

- [1] KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M.; Obnovitelné zdroje energie. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80–7078–445–8.
- [2] CIHELKA, J.; Solární tepelná technika. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80–900759–5–9.
- [3] HALAHYJA, M.; VALÁŠEK, J. a kol.; Solárna energia a jej využitie. Bratislava: ALFA, 1983. 304 s.
- [4] MATUŠKA, T.; Solární tepelné soustavy. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.
- [5] SCHEER, H.; Sluneční strategie. München: R. Piper GmbH and Co. KG. 284 s. ISBN 80-902535-0-4.
- [6] Informační podklady k předmětu AOZE.
- [7] TURNER, W. C.; Energy Management Handbook. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0–13–728098–X.
- [8] Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva [Online]. Technická zařízení budov [Citace: 1. dubna 2014.] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva?>
- [9] Sluneční kolektor KPH1 [Online]. Regulus [Citace: 15. února 2014]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-kph1>
- [10] Čerpadlová skupina S1 Solar 1-3/4" [Online]. Regulus [Citace: 1. dubna 2014]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/cerpadlova-skupina-s1-solar1-3-4>
- [11] Zásobník RBC 400 [Online]. Regulus [Citace: 1. dubna 2014]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/zasobnik-rbc-400>
- [12] Černé uhlí [Online]. Stragbet Trade a.s. [Citace: 5. dubna 2014]. Dostupné z: <http://www.stagbet.cz/>

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Schéma zapojení solárního systému (vložený)

Příloha č. 2 - Technický list slunečního kolektoru KPH1 (vložený)

Příloha č. 3 - Technický list akumulční nádrže RBC 400 (vložený)